# CoNaIISI 2025

## 13º Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información

## Actas completas

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

AJEA
Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN

UTN FRC
FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional
13 Congreso Nacional de Ingeniería Informática : Sistemas de Información ; Contribuciones de Analía Guzmán ; Compilación de Martin Casatti ; Leonardo Ciceri ; Coordinación general de Roberto Miguel Muñoz. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Universidad Tecnológica Nacional, 2026.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-42-0269-1

1. Ingeniería Informática. 2. Sistemas de Información. I. Guzmán, Analía, colab. II. Casatti, Martin, comp. III. Ciceri, Leonardo, comp. IV. Muñoz, Roberto Miguel, coord.
CDD 620

**Libro de Actas**
13er. Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI)
Fecha del Congreso: 6 y 7 de noviembre de 2025
Lugar de las Jornadas: Facultad Regional Córdoba, Córdoba, Argentina.

**Menciones**
**Compiladores:** Esp. Ing. Martin Casatti y Ing. Leonardo Ciceri
**Contribuciones:** Esp. Ing. Analía Guzmán
**Coordinación General:** Esp. Ing. Roberto Miguel Muñoz

**Temas de la obra**
Informática - Sistemas de Información

DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
ISBN: 978-950-42-0269-1
Fecha de Publicación: 09/2026




Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento–NoComercial 4.0 Internacional.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Autoridades de Rectorado

**Rector** : Ing. Rubén Soro
**Vicerrector** : Ing. Haroldo Avetta

## Autoridades de Facultad Regional Córdoba

**Decano** : Ing. Héctor Macaño
**Vicedecano** : Ing. Jorge Abet

## Autoridades de RIISIC / Comité organizador

**Coordinador** : Patricia Cristaldo (UTN Facultad Regional Concepción del Uruguay)
**Coordinador Suplente** : Pablo Fillotrani (Universidad Nacional del Sur)
**Secretario Titular** : Gastón Gadea (Universidad Austral)
**Secretario Titular** : Alejandro Vazquez (UTN Facultad Regional Mendoza)
**Secretario Suplente** : Gabriel Cerutti (UTN Facultad Regional San Francisco)
**Secretario Suplente** : Guillermina Nievas (Universidad Católica de Salta)

## Comité organizador, Facultad Regional Córdoba

**Coordinador General** : Esp. Ing. Roberto Muñoz
**Integrantes**
Esp. Ing. Sergio Quinteros
Esp. Ing. Fabián Gibellini
Esp. Ing. Martín Casatti
Esp. Ing. Analía Guzmán
Mgter. Ing. Gabriela Falcón
Ing. Carolina Molina
Mgter. Ing. Andrea Delgado
Ing. Leonardo Cíceri

## Comité académico

- **Formación**
  - **Chair:** Mg. Ing. Andrés Pascal, UTN - FRCU
  - **Co-chair:** Ing. Juan Carlos Vázquez, UTN - FRC
  - **Co-chair:** Mg. Ing. Brenda Meloni, UTN - FRC
- **Informática Forense y Seguridad Informática**
  - **Chair:** Mg. Ing. Lorena Baigorria, UNSL
  - **Co-chair:** Esp. Ing. Fabian Gibellini, UTN - FRC
- **Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información**
  - **Chair:** Dra. Ing. Milagros Gutiérrez, UTN – FRSF
  - **Co-chair:** Ing. Nelson Sotomayor, UFASTA
  - **Co-chair:** Esp. Ing. Judith Meles, UTN - FRC

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Bases de Datos**
  - **Chair:** Dr. Ing. Mario Diván, UTN - FRC
  - **Co-chair:** MCs. Lic. Norma Herrera, UNSL
  - **Co-chair:** Ing. Gaspar Cena, UTN - FRC
- **Educación en Ingeniería**
  - **Chair:** Dr. Lic. Carlos Neil, UAI
  - **Co-chair:** Mg. Juan Carlos Calloni, UTN - FRSFco
  - **Co-chair:** Dra. Ing. Mercedes Soria, UTN - FRVM
- **Sistema de Computación y Comunicación de Datos**
  - **Chair:** Ing. Andrés Bursztyn, UTN - FRBA
  - **Co-chair:** Ing. César Cicerchia César, UNDEF
  - **Co-chair:** Mgter. Ing. María Alejandra Paz, UTN - FRC
- **Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Software y Gestión de Proyectos**
  - **Chair:** Dr. Ing. Marcelo Marciszack, UTN - FRC
  - **Co-chair:** Dr. Ing. Carlos Casanova Pietroboni, UTN - FRCU
  - **Co-chair:** Dr. Ing. Pablo Fillottrani, UNS

## Trabajos Estudiantiles

- **Trabajos de Final de Carrera**
  - **Chair:** Dra. Ing. Patricia Zachman, UNCAUS
  - **Co-chair:** Mg. Lic. Alejandro Vázquez, UTN - FRM
  - **Co-chair:** Esp. Ing. Sergio Quinteros, UTN - FRC
- **Trabajos de Cátedra de 1º a 3º año**
  - **Chair:** Dra. Ing. Patricia Cristaldo, UTN - FRCU
  - **Co-chair:** Ing. Andrea Vera, UNLaM
  - **Co-chair:** Mgter. Ing. Andrea Delgado, UTN - FRC
- **Trabajos de Cátedra de 4º año en adelante**
  - **Chair:** Esp. Ing. Roberto Muñoz, UTN - FRC
  - **Co-chair:** Esp. Ing. Gabriel Cerutti, UTN - FRSFco
  - **Co-chair:** Ing. Sebastián Mussetta, UTN - FRVM
- **Trabajos de Investigación de Estudiantes extra-cátedra**
  - **Chair:** Ing. Verino Claudia, UTN - FRFco
  - **Co-chair:** Esp. Ing. Marcela Bentin, UAA
  - **Co-chair:** Esp. Ing. Alejandra Jewsbury, UTN - FRC

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Comité evaluador:

Se incluye el listado de docentes y docentes investigadores que colaboraron en la revisión de los artículos recibidos:

| Nombre y Apellido | Nombre y Apellido |
|---|---|
| Aballay, Patricia Gabriela | Abdelahad, Corina |
| Acuña Borobach, César | Aguirre, Jesús Francisco |
| Albornoz, María Claudia | Ale, Mariel Alejandra |
| Alfonso, Eugenia | Almeida Delgado, Carlos Domingo |
| Alvarez Ferrando, Agustín | Amar, Eduardo |
| Amiconi, Diego Federico | Amor, Matías Nicolás |
| Andreu, Ruben Ernesto | Angeleri, Paula María |
| Ansalas, Maria Eugenia | Antonini, Sergo Andres |
| Aranda, Marcos Darío | Araujo, Pedro Bernabé |
| Armando, Silvana | Arroyo Arzubi, Alejandro Luis |
| Aspis, Analía | Asteasuain, Fernando |
| Aubin, Verónica Inés | Auquer, Marcelo |
| Baigorria, Lorena | Balich, Nestor Adrian |
| Barrera, María Alejandra | Barrionuevo, Ileana Maricel |
| Battaglia, Nicolás | Becker, Pablo Javier |
| Bellani, Marcela Elisabet | Bentin, Marcela Paola |
| Berdun, Luis | Bernal, Ruben Alfredo |
| Bernardis, Hernán | Berón, Mario |
| Bianchini, Germán | Boggio, María Alejandra |
| Bollati, Verónica Andrea | Bono, Julio Martin |
| Bossero, Julio Cesar | Botto Tobar, Miguel |
| Breslin, Roberto | Bressano, Mario Osvaldo |
| Budan, Paola Daniela | Cabrera, José Luis |
| Cáceres, Nélida Raquel | Cáceres, Rubén Andrés |
| Caliusco, María Laura | Calloni, Juan Carlos |
| Canali, Luis | Canavesio, Maria Mercedes |
| Carabelli, Luis Maria | Carbonari, Daniela |
| Carrillo, Carla Daniela | Carrizo, Claudio José |
| Casanova Pietroboni, Carlos Antonio | Casanovas, Eduardo |
| Castillo, Angel Fabian | Castiñeiras, Jose |
| Castro, Claudia Susana | Cechich, Alejandra |
| Cenci, Karina | Cerutti, Gabriel Ruben |
| Césari, Matilde Inés | Chayle, Carolina Irene |
| Cicerchia, César | Ciceri, Leonardo R. |
| Cicerone, María De Los Angeles | Cleva, Mario Sergio |
| Cóccola, Mariana | Conde, Sergio Daniel |
| Cordoba, Fernando Martin | Cornejo, Hernán |
| Corso, Cynthia Lorena | Cristaldo, Patricia Raquel |
| Cuenca Pletsch, Liliana | Cuozzo, José Domingo |
| Damiano, Luis Esteban | Dania, Claudia Estela |
| de San Pedro, María Eugenia | De Vincenzi, Marcelo |
| Delgado, Andrea Fabiana | Destefanis, María Laura |

Continúa en la siguiente página

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Listado de Revisores

| **Nombre y Apellido** | **Nombre y Apellido** |
|---|---|
| Díaz, Daniela Elisabet | Dorigatti, Mariana Carolina |
| Elizalde, María Celia | Eribe, Roberto Angel |
| Eterovic, Jorge Esteban | Farfán, José Humberto |
| Fennema, Marta Cristina | Fernández, David Alejandro |
| Fernández, Jackeline | Ferreyra, Juan Pablo |
| Fillottrani, Pablo | Flores, Carola Victoria |
| Funes, Ana | Galaz, Solange Yamina |
| Gaona, Germán | Garay, Laura Adriana |
| Garbarini, Ramiro Walter | Garcia, Daniel Omar |
| García, Pablo Marcelo | Garis, Ana |
| Gibellini, Fabian Alejandro | Giuliano, Monica |
| Godoy, Diego Alberto | Golobisky, María Fernanda |
| Gómez, Sergio Alejandro | Gonçalves, Ricardo |
| Gramajo, María Guadalupe | Grigera, Julián |
| Guatelli, Renata Silvia | Gutiérrez, María Milagros |
| Haustein, María Carolina | Herrera, Claudia Mabel Mabel |
| Herrera, Susana Isabel | Hoferek, Silvia Rosana |
| Hossian, Alejandro Armando | Iannantuoni, Gabriela Fernanda |
| Jachesky, Tamara Lía | Jewsbury, Alejandra |
| Juarez, Marcelo Adrián | Kabusch, Andrés Ricardo |
| Klimiszyn, Diego Emmanuel | Kornuta, Carlos Antonio |
| Korzeniewski, María Isabel | La Red Martínez, David Luis |
| Lapertosa, Sergio Federico | Lazarte, Ivanna Maricruz |
| Ledesma, Ernesto Esteban | Ledesma, Viviana Alejandra |
| Leiva, Lucas | Leonardi, Carmen |
| Liberatori, Héctor Pedro | Ligorria, Karina Paola |
| Lopez Nocera, Marcelo Ubaldo | López, Carlos Gustavo |
| Lopez, Gustavo | Ludueña, Verónica |
| Lujan Vega, Luis | Macaione, Rosa Eufracia |
| Maffei, Fabián | Malbernat, Lucia Rosario |
| Mana, Franco | Marciszack, Marcelo M. |
| Marcos, Claudia | Marsiglia, Silvana Carolina |
| Mauco, Virginia | Medel, Ricardo |
| Medina, Oscar Carlos | Meschino, Gustavo Javier |
| Milin, Erica | Mira, Natalia Carolina |
| Miranda, Natalia Carolina | Monetti, Julio |
| Monferrato, Marcelo | Montejano, Germán A. |
| Montesinos, Leonardo Rafael Martín | Montoya, Fanny Esther |
| Morcela, Antonio | Moreno, Juan Carlos |
| Mussetta, Sebastián Norberto | Nadal, Jorgelina Cecilia |
| Nahuel, Leopoldo | Nalli, María Yanina |
| Nasrallah, Augusto José | Naveda, Claudia Alejandra |
| Nazar, Patricia | Neil, Carlos Gerardo |
| Nigro, Alberto María | Notreni, Juliana Maria |
| Odetti, Maria Alejandra | Olariaga, Sandra Monica |
| Olsina, Luis | Pacheco, Federico |

Continúa en la siguiente página

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Listado de Revisores

| **Nombre y Apellido** | **Nombre y Apellido** |
|---|---|
| Papa, María Fernanda | Parisi, Germán Nicolás |
| Parra de Gallo, Herminia Beatriz | Pascal, Andrés |
| Paz Menvielle, María Alejandra | Pedroni, Juan Pablo |
| Peliza, Carlos | Peñalva, Mirta del Carmen |
| Peralta, Mario Gabriel | Perez, Norma Beatriz |
| Pérez, Sofía Beatriz | Piccoli, Fabiana |
| Pinto, Noelia Soledad | Planas, Adrián Nicolás |
| Podadera, Rodolfo David | Poliche, maria Valeria |
| Pollo-Cattaneo, María Florencia | Poncio, Silvia Victoria |
| Portillo, Rosana Marcela | Prado, Lucas Martín |
| Quinteros, Sergio | Quiroga, Silvia |
| Quispe, José Rolando | Ramirez Amador, Pablo José |
| Rapallini, Ulises M. A. | Ravera, Emanuel Mariano |
| Redolfi, Javier | Rico, Mariela |
| Roa, Jorge | Roberti Ferri, Bruno Alejandro |
| Robiolo, Gabriela | Rodriguez, Mariela Ester |
| Rodriguez, Rocio Andrea | Rojas, Cristina |
| Roldán, Luciana | Romero, Gilda R. |
| Romero, Lucila | Rosenzvaig, Federico |
| Rottoli, Giovanni Daian | Ruhl, Analia Lorena |
| Ruiz Diaz, Soledad | Rustán, Silvina |
| Saclier, Lucas Javier | Saldarini, Javier |
| Salgado, Carlos | Sanchez Reynoso, Maria Laura |
| Sánchez Rivero, Víctor David | Sánchez, Alberto Antonio |
| Sánchez, Ernesto | Sandobal Verón, Valeria Celeste |
| Santucci, Viviana Andrea | Sarramone, Luca |
| Schab, Esteban Alejandro | Screpnik, Claudia R |
| Servetto, Arturo Carlos | Simieli, Mariana Paola |
| Solinas, Miguel | Soria, Mercedes |
| Stefanoni, María Eugenia | Steffolani, Felipe |
| Straccia, Luciano Nicolas | Talamé, María Lorena |
| Taranilla, Maria Teresa | Todorovich, Elias |
| Tolaba, Ana Carolina | Tomaselli, Gabriela |
| Tortosa, Nicolás Gabriel | Toselli, Paula Andrea |
| Tosini, Marcelo Alejandro | Tosselli, Laura Ramona |
| Tozzi, Adrian Horacio | Urribarri, Dana |
| Valla, Sandra Fabiana | Vazquez, Alejandro |
| Vazquez, Juan Carlos | Vegega, Cinthia |
| Vegetti, Marcela | Vera, Marcela Andrea |
| Vera, Pablo Martín | Verino, Claudia Mariela |
| Vicente, Andrea Carolina | Vilallonga, Gabriel Domingo |
| Yennerich, Germán | Zachman, Patricia Paola |
| Zea Cárdenas, Ninfa Milagros | Zuñiga, Mariela |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Compaginación y edición

**Recopilación de trabajos:** Ing. Ciceri, Leonardo

**Compaginación y edición:** Esp. Ing. Martin Casatti

**Revisión y corrección** Esp. Ing. Roberto Muñoz

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Palabras introductorias

Este 13er. Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI), brinda continuidad a la iniciativa de RIISIC (Red de Ingeniería en Informática / Sistemas de Información del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, CONFEDI) y constituye un espacio para divulgar y compartir las actividades de investigación de docentes, estudiantes de grado y posgrado, como también de personas graduadas de carreras afines.

CoNaIISI 2025 se desarrolló los días 6 y 7 de noviembre de 2025, en la Ciudad de Córdoba, y fue organizado por investigadores y docentes de la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, en modalidad presencial y bajo la coordinación del Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, con el acompañamiento permanente de la Comisión Ejecutiva y de la Comisión de CoNaIISI de RIISIC.

Entre ambas jornadas participaron más de 400 personas, entre autores e investigadores docentes, estudiantes y graduados, otorgando un marco propicio y ameno de intercambio personal entre quienes asistieron a los distintos espacios propuestos.

La comunidad académica y científica participó presentando trabajos, enviando artículos científicos originales sobre ideas innovadoras, soluciones desarrolladas que abordan problemas reales, trabajos empíricos, estudios de caso, entre otros, en el dominio de la informática y los sistemas de información.

Todos los artículos presentados y aprobados por el comité de cada simposio fueron expuestos en salas a tal fin, facilitando la interacción entre autores y quienes asistieron a conocer las propuestas.

La mayoría de los trabajos estudiantiles se presentó en formato póster; sin embargo, los más destacados se expusieron de forma oral y recibieron un reconocimiento en la premiación.

El programa de CoNaIISI 2025 incluyó dos paneles y un taller para estudiantes, conformados por destacados profesionales del medio:

**PANEL “Inteligencia Artificial”:** ¿En dónde estamos, cómo vamos y qué se viene? Esp. Ing. Federico Pascual y el estudiante Luis Kunz. Moderador: Mgr. Ing. Franco Mana.

**PANEL “Navegar la Complejidad”:** Pautas para gestionar equipos como sistemas adaptativos complejos. Esp. Ing. Iris Gastañaga.

**TALLER PARA ESTUDIANTES:** “Hackeando aplicaciones web y móviles”. Esp. Ing. Germán Parisi.

El congreso se estructuró en torno a los ejes temáticos seleccionados por nuestra

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



red, abarcando áreas críticas y en constante expansión. Cada uno de los trabajos aquí publicados ha superado un riguroso proceso de evaluación por pares evaluadores. Por ello, deseamos expresar nuestro más profundo reconocimiento al Comité Científico y a toda nuestra red de revisores, cuya labor minuciosa y desinteresada ha sido pilar fundamental para garantizar la excelencia académica de esta obra.

Deseamos extender un agradecimiento especial a las autoridades institucionales de la Facultad Regional Córdoba, que brindaron su respaldo y el acceso a todos los espacios necesarios para atender a quienes asistieron; al Comité Organizador Local, por el gran trabajo realizado; también destacamos a autores y asistentes, que, con su participación activa, facilitaron el intercambio de ideas y el espíritu de colaboración que caracterizan a CoNaIISI.

Confiamos en que estas memorias no sean únicamente un registro documental de lo acontecido durante las jornadas, sino que se conviertan en una fuente de consulta permanente, un disparador de nuevas líneas de investigación y el inicio de futuros proyectos colaborativos entre nuestras universidades.

¡Que disfruten de la lectura y que estos aportes sigan impulsando la evolución tecnológica de nuestro país!

**Comité Organizador Local**
*CoNaIISI 2025*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

# Índice general

**Índice general** IX

**1 Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información** 1

CoVaMaT 1.0 Gestión de la variedad y reúso en el desarrollo de sistemas big data . . . 2
Sistema para adultos mayores con geofencing local y notificaciones personalizadas en Wear OS . . . 16
Mapas Autorganizados Esféricos Un método preliminar para inicializar la teselación de una esfera en un conjunto arbitrario de polígonos de Voronoi . . . 30
Robot traductor con IA Sistema multilingüe con conciencia del contexto . . . 41
Aplicación de Modelos de Lenguaje de Gran Escala para el Análisis de Expedientes Judiciales Penales . . . 45
Automatización de Ventilación en Data Centers mediante Herramientas de Inteligencia Artificial.pdf . . . 54
Estudio exploratorio sobre el uso de espectrogramas de Mel y PCEN para detección de Parkinson . . . 63
Diseño con Arquitectura Empresarial de un sistema de gestión del conocimiento para empresas agroindustriales . . . 70
Hacia una Evaluación Integral Desarrollo de un Modelo de Calidad para Simuladores Clínicos en Enfermería . . . 76
Automatización y Apertura de Datos Públicos en Salud Arquitectura Interoperable para Donación de Órganos en Argentina . . . 91
UNI y BiomedCLIP en la detección no supervisada de núcleos celulares en citología de Papanicolaou . . . 99
Sistema automatizado de envasado y control de medicamentos en polvo con monitoreo ambiental . . . 110
Sistema de clasificación y separación de residuos inteligente mediante visión artificial . . . 118
emelos Digitales en la Educación en Robótica Un Mapeo Sistemático de la Literatura . . . 126
Desarrollo de un Sistema para el Conteo Automatizado de Ganado Vacuno . 135
Integración de un Sistema Retrieval-Augmented Generation (RAG) con Ollama para el Análisis de Expedientes Judiciales . . . 142
OCR y Segmentación de Documentos Normativos Universitarios Resultados Preliminares y Desafíos . . . 154
Predicción del nivel del Río Gualeguaychú construcción de un conjunto de datos y modelo basado en redes neuronales LSTM . . . 161
Análisis predictivo del precio de Bitcoin a partir del interés de búsquedas en Google Trends mediante técnicas de Deep Learning . . . 172
Extracción de Características para Búsquedas por Similitud Un enfoque basado en Vision Transformers . . . 185

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Pronóstico de la Demanda Eléctrica mediante Técnicas de Inteligencia Artificial 194
Supervisión inteligente y optimización operativa de una expendedora de café mediante Gemelo Digital y Tecnologías de la Industria 4.0 . . . . . 208
Desarrollo de plataforma para sellados en la Blockchain Federal Argentina . 219
Uso de Blockchain como mecanismo de certificación de documentos digitales en instituciones universitarias . . . . . 228
Sistema Integral de Detección Temprana y prevención de Gases Tóxicos con Notificación Inteligente y Comando Remoto . . . . . 234
Presentación de una Plataforma Tecnológica para el Análisis Cienciométrico y la Gestión de Congreso en CoNaIISI . . . . . 243
Hacia el Diagnóstico Asistido por IA Usabilidad de Aplicaciones Móviles en la Validación del diagnóstico del EEG . . . . . 250

**2 Bases de Datos 251**
Replicación ”Maestro-Esclavo” en Base de Datos No SQL Clave-Valor Embebidas no Distribuidas . . . . . 252
Ciencia de datos para la caracterización de pacientes con consumos problemáticos . . . . . 260

**3 Educación en Ingeniería 264**
El Impacto de la Inteligencia Artificial en el Desarrollo de Habilidades Cognitivas y Socioemocionales Una Perspectiva Psicosocial para Profesores 265
Aplicación de ADE en la formación de grado una experiencia situada desde el rol estudiantil . . . . . 272
Una propuesta para mejorar la participación y el rendimiento estudiantil . . 279
Del aula técnica a la reflexión crítica un proyecto con Borges y Big Data en la educación en ingeniería . . . . . 287
Del diseño a la implementación una experiencia de integración de competencias mediante ABP en Ingeniería . . . . . 293
Análisis de Usabilidad y su Impacto en la Formación de Ingenieros El Caso del Laboratorio Remoto de Cinemática . . . . . 301
Lo que aprendimos del estudiantado Una lectura pedagógica del TPI en Ingeniería en Sistemas de Información . . . . . 311
Aprendizaje activo y evaluación híbrida en Lógica y Estructuras Discretas. Un enfoque por competencias . . . . . 319
Design Thinking como catalizador de competencias gerenciales e ingenieriles 326
Desarrollo de competencias en Ingeniería en Informática mediante la articulación horizontal entre requisitos y programación web . . . . . 336
El rol de las materias electivas en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información en la UTN - FRT análisis del origen, distribución y permanencia (2008–2022) . . . . . 344
Herramientas de soporte para actividades prácticas en asignaturas de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información . . . . . 354
La Gestión de Operaciones como Marco Pedagógico para la Evaluación por Competencias en la asignatura de Sistemas de Gestión . . . . . 360
Comparación y selección de metodologías para el desarrollo de Objetos Virtuales de Aprendizaje con Realidad Aumentada en Educación Superior 365
Perspectivas para la construcción del Sistema de Monitoreo Académico Estudiantil . . . . . 373
Agendas Estudiantiles t celdas de Aprendizaje transformacional El Tercer Docente de la Clase . . . . . 384

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Una aproximación al estudio del abandono en la universidad desde la perspectiva del retraso académico . . . . . 392
Implementación y Evaluación de Estrategias de Coevaluación entre Pares en Contextos Masivos Análisis de Percepciones Estudiantiles . . . . . 398

**4 Ingeniería de Sistemas y de Software 406**
Modelado de contratos inteligentes dirigido por patrones de eventos. Una revisión sistemática de literatura . . . . . 407
Evaluación de eficacia y eficiencia del uso de patrones de eventos en el modelado de contratos inteligentes . . . . . 413
Prototipos de Alta y Baja Fidelidad asistido por IA Una experiencia en Educción de Requisitos en el Contexto del Gobierno del Dato . . . . . 419
Importancia de la Documentación para Asegurar la Mantenibilidad en el Ciclo de Vida de un Producto/Sistema de Software . . . . . 428
Seguridad Integral en Sistemas Web Un Método Proactivo Basado en Semiótica y Patrones de Ataque . . . . . 442
Análisis preliminar de herramientas para Vibecoding aplicadas al desarrollo de software . . . . . 455
Marco de trabajo para mejorar la calidad de requerimientos ágiles una primera aproximación . . . . . 466
Ludificación en la Captura de Métricas para la Gestión de Proyectos . . . . . 478
Calidad e Innovación en Repositorios Digitales Institucionales. Un Enfoque desde la Ingeniería de Software y Gestión de Proyectos . . . . . 487
A Declarative and Flexible Specification for Probabilistic and Quantitative Behavioral Patterns . . . . . 495
Hacia una mejora de la capacidad de producción en entornos ágiles revisión, evidencia empírica y propuesta preliminar. . . . . 507
Conflictos por Pares en Proyectos de Software Un Estudio Empírico . . . . . 518
Modelo semántico de repositorio de procesos de negocio colaborativos orientado a la ejecución . . . . . 531
Documentación de usuarios en productos software empresariales una revisión sistemática de literatura académica y gris. . . . . 545
Propuesta de Arquitectura Para el Desarrollo de un Sistema de Agentes de IA Basada en Protocolos . . . . . 552
Preparación de corpus y evaluación de algoritmos de similitud herramientas de apoyo para el análisis de textos . . . . . 560

**5 Trabajo de cátedra de 1er a 3er nivel 570**
Aplicación Inteligente de Apoyo Emocional por Voz . . . . . 571
SAMBI Sistema Forense de Autenticación Multimodal con Blockchain e Inteligencia Artificial . . . . . 579
Abordaje integral del Diseño de Sistemas en el marco de la Ingeniería del Software . . . . . 584
Visualización evolutiva de la red de transacciones de Bitcoin mediante algoritmos genéticos y geometría fractal . . . . . 592
Software de apoyo al peritaje documentologico . . . . . 599
¿Por qué muchos videojuegos modernos no están bien optimizados? . . . . 603
Impacto del aprendizaje con videojuegos de simulación de competición automovilística en Jóvenes . . . . . 614
Meta AI y la delgada línea entre innovación y violación de la privacidad . . . 624
el voto electrónico en argentina, seguridad o riesgo? . . . . . 632

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Comparativa de Agrotecnologías . . . . . 638
Implementación de dinero virtual en la sociedad . . . . . 644
Robótica inclusiva control de robots impresos en 3D mediante aplicaciones móviles . . . . . 653
Criptografía aplicada a la firma digital y certificados digitales . . . . . 657
Uso de la Tecnología en la Infancia. Trabajo integrador Sistemas y Procesos de Negocio . . . . . 665
Tus Malos Requerimientos Están Matando al Software . . . . . 672
DIseñando lo Infalible . . . . . 679
Línea Base de Requerimientos Una estrategia para domar el caos-Aplicación de la línea base de requerimientos como herramienta de control de alcance . . . . . 686
Iterar Para Proteger Sin Autores . . . . . 694
Relación Humano-Tecnología, de complemento a necesidad . . . . . 699
Requisitos inteligentes IA al Servicio de la Ingeniería de Software . . . . . 705
Entre la Estabilidad y la Incertidumbre Estrategias para la Gestión de Cambios en Requerimientos de Software . . . . . 710
MACHINE LEARNING Y SU VINCULACIÓN CON AG - Navegación en el Río Paraná Optimización de Cruces hacia la Isla 'La Invernada' . . . . . 716
Nivel o Ingeniería en el Corazón de los Videojuegos . . . . . 725
Solución Integral Basada en Tecnologías Web para la Optimización del Servicio de Facturación en Cooperativa de Agua Potable . . . . . 733
Deteccion de Ataques Epilepticos Optimizado con Algoritmos Geneticos . . . 739
Machine Learning y su vinculación con Algoritmos Genéticos para la planificación óptima de cultivos . . . . . 747
Adaptaciones necesarias de un sitio web para la usabilidad de personas mayores . . . . . 755
ALGORITMOS GENÉTICOS EN LA OPTIMIZACIÓN DE REDES NEURONALES LSTM PARA LA PREDICCIÓN DE SERIES TEMPORALES FINANCIERAS . . . . . 763
Inteligencia Artificial utilizada para la generación de arte . . . . . 772
Tik Tok, su algoritmo y cómo afecta el rendimiento de los alumnos de la Universidad. . . . . 780
Trabajo de Investigación Algoritmos Genéticos vinculados a la Robótica . . . 785
Modelado computacional de la dinámica de factores de transcripción en condrogénesis SP1, RUNX2 y ETS1 . . . . . 792
Optimización Espacial de Puntos de Extracción con Datos Escasos mediante Heurística Genética Penalizada . . . . . 799
Asignación óptima de rutas de drones (UAVs) para entregas a domicilio en entornos urbanos utilizando algoritmos genéticos . . . . . 804
Ubicaciones óptimas para parques eólicos en la Argentina mediante un algoritmo genético Balance entre recurso eólico y costo de conexión . . . 812
Inteligencia Artificial como recurso pedagógico para el desarrollo algorítmico y metacognitivo en la formación en ingeniería . . . . . 819

**6 Trabajo final de carrera 826**
Ojo Ciudadano . . . . . 827
Plataformas y Agricultura de Precisión. Estudio de Caso Plataforma Operation Center en una empresa de Maquinarias Agrícolas de la provincia del Chaco. . . . . 834
"Ingeniería aplicada al agro análisis de los principales sistemas tecnológicos de la Agricultura de Precisión" . . . . . 842

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Plataforma para el seguimiento del bienestar emocional y organizacional en empresas . . . 851
StockifAI Plataforma inteligente de control y forecasting de stock de repuestos automotrices . . . 858
BeatSense, un Sistema de Entrenamiento de Percusión Inteligente con Detección de Sonido a partir de Objetos Cotidianos . . . 866
TrashUp Aplicación Móvil basada en Inteligencia Artificial para la Separación de Residuos y la Promoción de Hábitos Sostenibles . . . 875
GeoInsight - Sistema de Análisis Espacial Multivariable . . . 885
Paper NovaEDU . . . 894
AquaVision Sistema Inteligente de Monitoreo y Predicción de Consumo de Agua en Hogares . . . 900
Solución de Calidad y Gestión en la Fabricación de Flejes de Acero Detección de Defectos en Tiempo Real . . . 911
Plataforma Predictiva para Evaluar el Potencial de Terrenos en Texas mediante Análisis Normativo, Geoespacial y de Mercado . . . 920
Posterit-E Sistema de gestión segura y soberana de la herencia digital. . . . 931
Aplicación móvil para la planificación de comidas que evalúa la coherencia entre las metas nutricionales de las personas y sus elecciones alimentarias . . . 941
Simulación de Phishing con Inteligencia Artificial para la Evaluación y Entrenamiento en Ciberseguridad . . . 951
OnboardMe - Plataforma para la Gestión Personalizada de Onboarding en Equipos de TI . . . 961
PrensAI Automatización del clipping de noticias y generación de informes con IA . . . 968
MyCFO Desarrollo de un Sistema de Gestión Financiera y Contable Basado en Microservicios para Startups y Freelancers . . . 976
De la Complejidad al Uso Cotidiano Cómo Diseñar y Desplegar Agentes Inteligentes de Forma Accesible . . . 984
Workee - Sistema de Gestión Transparente de Procesos de Selección . . . 994
Optimización de Márgenes y Promociones en Retail Mayorista Mediante Aprendizaje Analítico y Pricing Predictivo . . . 1004
AIcruiting Plataforma Inteligente para Optimizar Procesos de Reclutamiento en el Sector Tecnológico . . . 1010
Ecopunto 360 Plataforma Digital Inteligente para la Gestión y Trazabilidad de Residuos Reciclables Urbanos . . . 1016
Sistema experto de apoyo a la toma de decisiones para el tratamiento de hemodiálisis en niños . . . 1023
GERAS Plataforma de autogestión del retiro y educación financiera asistido por IA . . . 1032
Parametrizando un Sistema Informático para Obra Social Universitaria con un Motor de Reglas . . . 1040
Paper Wevently . . . 1050
Apoyo a la Elección de una Carrera Universitaria en Informática de la UNSL . 1060
Unboxing Sistema para el diseño y la compra de packaging personalizado para emprendedores . . . 1070
ZonAR Un sistema para modernizar la gobernanza ambiental urbana en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires . . . 1079
Desarrollo de una plataforma para el entrenamiento de habilidades de programación de una forma lúdica . . . 1087

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



BraiLive Tecnología asistiva inteligente para la lectura Braille, portable, accesible e integrada con IA . . . . . 1096
Carbon Trace Medición y gestión automatizada de la huella de carbono . . . 1106
Orientacion Vocacional Online . . . . . 1111
Dislu una plataforma educativa de evaluación y tutoría asistida por IA . . . . 1120
Strider asistente inteligente para la planificación y el seguimiento de entrenamientos de atletismo . . . . . 1127
Horas al Mando propuesta de plataforma digital para la gestión integral de horas de vuelo y documentación en la aviación civil argentina . . . . 1135
Sistema de gestión y localización en centros de evacuación A Salvo . . . . . 1145
KiuApp - Sistema de Gestión Integral para Eventos Masivos . . . . . 1153
Mappas Plataforma Digital para la Gestión y Trazabilidad de Terrenos Rurales 1163
FootData Un Sistema IoT para la Detección y Alerta en Tiempo Real de Lesiones en Deportistas a Través de Sensores Plantares . . . . . 1172
INDIE_2025 . . . . . 1183
Vinza - Plataforma de eventos vitivinícolas . . . . . 1191
Home Fixing – Sistema de gestión para trabajos de reparación del hogar . . 1201
Melodify - Sistema red social de música . . . . . 1210
BirdEX aplicación para observadores de aves . . . . . 1220
Desarrollo de un sistema de registro de calificaciones y asistencia con tecnología blockchain . . . . . 1227
Vigicar . . . . . 1235
Validación Práctica de una Arquitectura de Inteligencia de Negocios en Educación Superior. Caso de Estudio en un Departamento de Educación a Distancia . . . . . 1244
evtnet-Red Social para Organización de Eventos Deportivos y de Ocio . . . . 1254
Dicta sistema de transcripción inteligente y asistencia en tiempo real para audiencias judiciales . . . . . 1265
LitBud Aplicación para motivar y mejorar el nivel de la lectoescritura en adolescentes, jóvenes y adultos argentinos en 2025 . . . . . 1273
Prototipo de Realidad Virtual para mejorar la experiencia en la lectura de personas con Afantasía o TDAH . . . . . 1283
ELOS - Aplicación basada en lógica difusa para la generación de rúbricas de evaluación de competencias en los estudiantes. . . . . 1292
Plataforma para potenciar el rendimiento académico de estudiantes hispanohablantes en América Latina . . . . . 1296
MCP LOGS Agente Inteligente con Herramientas Integradas para la Reducción del Tiempo Medio de Resolución (MTTR) en la Gestión de Incidentes de Tecnologías de la Información . . . . . 1305
Guitapp Aplicacion de gestion de finanzas . . . . . 1314
Paper - TurisGO . . . . . 1324
paper easy moving . . . . . 1334
Aconcarga Plataforma Web para Seguimiento Logístico . . . . . 1339
Heimlich Trainer . . . . . 1349
Mendoza Participa Plataforma Digital para la Participación Ciudadana y la Transparencia Gubernamental . . . . . 1357
Sabelotín Plataforma móvil para el fortalecimiento de la alfabetización inicial mediante actividades interactivas y reconocimiento de voz . . . . . 1367
Ferminator . . . . . 1373
ProyectAR . . . . . 1378
Paper CoNaIISI - Etapa de Revisión . . . . . 1386

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Gestión de arbolado urbano usando GIS . . . . . 1393
Diseño de una Infraestructura Virtual para Educación con Autenticación de Múltiples Factores . . . . . 1399
Hacia una herramienta de participación ciudadana primeros pasos en el diseño de una aplicación para opinar sobre asuntos urbanos . . . . . 1405
Implementación y Validación Experimental del Grafo Contextual Probabilístico Un Prototipo para Gestión Temporal de Contextos en LLMs . . . . . 1412
Sistema de asignación de evaluadores de artículos para el CoNaIISI basado en una métrica de similitud temática . . . . . 1420
SQrum Aplicación para la Especificación de Requisitos de Calidad del Software 1429
Internet de las Cosas y Machine Learning en el ámbito de la salud . . . . . 1438
Mapeo sistemático de la integración de RAG en Nextcloud hacia un módulo con colecciones vectoriales administrables . . . . . 1448

**7 Trabajo de Investigación de Estudiantes extra-cátedra 1455**
Planificación eficiente de la gestión de residuos mediante ciencia de datos y análisis geoespacial caso de estudio en Rivadavia . . . . . 1456
Del Aula al Dato Categorización y Análisis de Observaciones con NotebookLM en el Modelo de Aula Invertida . . . . . 1464
Sistema de Semaforización Inteligente Arquitectura Tecnológica para la Optimización del Tránsito Urbano . . . . . 1473
Conciencia Digital Sanitaria e Historia Clínica Electrónica Percepciones Estudiantiles en la UNCAUS . . . . . 1484
Mejora de Consistencia en Matrices AHP, un Análisis Sobre Matrices Aleatorias 1492
Microsoft Presidio una herramienta de código abierto para detección y anonimización de información sensible . . . . . 1500
Desarrollo de un sistema de comunicaciones en tiempo real entre sistemas embebidos . . . . . 1508
Arquitectura Híbrida para la Detección de Incidentes de Seguridad en Logs utilizando Embeddings y Aprendizaje Automático Clásico . . . . . 1511
Un Asistente Virtual como soporte Académico en una Carrera Informática de la UNSL . . . . . 1519
CoNaIISI-2025-Proxy-Estudiantes . . . . . 1526
De la Fortaleza al Individuo Una Transición Estratégica del Perímetro de Seguridad a la Arquitectura Zero Trust . . . . . 1535
Sistema de soporte al relevamiento de sistemas eléctricos y de climatización para análisis de consumo de energía . . . . . 1543
Automatización de procesos crediticios y de pagos mediante la integración de APIs externas . . . . . 1552
Asistente Conversacional basado en Inteligencia Artificial para la prevención de Apuestas Online . . . . . 1559
Sistema de apoyo basado en chatbot para la evaluación de procesos agroecológicos . . . . . 1568
Diseño y Arquitectura de un Sistema de Gestión del Conocimiento para la Industria Citrícola de Tucumán . . . . . 1573
Generation of Synthetic Data to Train Neural Networks in Gaze Direction Tracking applied to the HMD project . . . . . 1580
Sistema Informático para el Peritaje de Comunicaciones Móviles . . . . . 1584
Corrección de Ejercicios de Unión con Flechas a través de Machine Learning 1592
The Oracle Un enfoque híbrido para la comparación de scripts de Python mediante métricas textuales y análisis semántico con LLM . . . . . 1600

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Automatización del Análisis de Puntos de Función . . . . . 1606
MCP y sus bases en la ingeniería de prompt . . . . . 1619
AUTOMATIZACIÓN CARGA DEL DATASET CONTENIDA POR IMÁGENES SAR SOBRE EMBARCACIONES CON INFORMACIÓN AIS . . . . . 1626
Impacto de las estrategias de razonamiento y los hiperparámetros de decodificación en la resolución de algoritmos con LLMs . . . . . 1632
Comunicación entre dispositivos a través del uso de la red LoRaWAN para el desarrollo del Internet de las Cosas . . . . . 1641
Clasificación de Requerimientos de Software en Escenarios de Datos Limitados mediante Aprendizaje Automático . . . . . 1647
Adaptación Nutricional Asistida por IA Un Enfoque Práctico para la Adherencia Alimentaria . . . . . 1653
Incorporando Inteligencia Artificial en una asignatura sobre Software de Fuentes Abiertas/Libre . . . . . 1661
Implementación multiplataforma de una solución utilizando visión artificial orientada al reconocimiento y clasificación de granos de arroz . . . . 1670
Gestión por procesos en la venta de vinos en el mercado nacional Diseño del modelo SCOR de una cooperativa vitivinícola . . . . . 1675
Análisis de usabilidad del sitio web institucional. . . . . 1682
Reentrenamiento del modelo de redes neuronales profundas (PhaseNet), adaptando datos sismológicos del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) para optimizar la detección y localización de sismos en Argentina . . . . . 1689
Aplicación del Método TOPSIS como Técnica de Apoyo a la Toma de Decisiones en Sistemas de Software. . . . . 1694
Gamificación del alcance de proyectos mediante un videojuego desarrollado en Godot Engine . . . . . 1703

**8 Informática Forense y Seguridad Informática 1711**
El aporte de la Inteligencia Artificial a la seguridad en sistemas de Internet de las Cosas un análisis crítico y prospectivo . . . . . 1712
Riesgos de la IA Generativa en el Ámbito Laboral Un Análisis de ChatGPT, Gemini y Copilot . . . . . 1720
Diseño de estrategias de ciberengaño a partir de inteligencia de ciberamenazas1732
Aplicación del antipatrón de vulnerabilidad un reporte sobre tres casos de estudio . . . . . 1743
Estudio de vulnerabilidades y robustez en WSO2 para una integración segura entre Web2 y Web3 . . . . . 1752
Evaluación de Madurez en Ciberseguridad Un Enfoque para Pequeñas y Medianas Empresas . . . . . 1763
Agente Autónomo para la Detección Proactiva de Vulnerabilidades en Billeteras Virtuales y Contratos Inteligentes . . . . . 1773
A Pseudorandom Binary Generator Consisting of a Combination of Self Shrinking Generator Using Boolean Functions and 2-Interlaced Sequences 1780
A Pseudorandom Binary Generator Consisting of a Combination of Modified Self Shrinking Generator Using Boolean Functions and 3-Interlaced Sequences . . . . . 1789
Análisis Experimental de Ataques DDoS en Controladores SDN Evaluación de Impacto y Estrategias de Defensa . . . . . 1798
Implementación de un Contrato Inteligente para la Certificación de Documentos Universitarios en la Blockchain Federal Argentina . . . . . 1812

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**9 Sistemas de Computación y Comunicación de Datos 1819**
Control Inteligente de Iluminación Urbana Un Enfoque Basado en Sensores y Automatización . . . 1820
Protección de Datos Sensibles en 2025 Estado del Arte actual y un enfoque hacia la detección de Información de Identificación Personal (PII) en Argentina . . . 1827
Apache Flink para Monitoreo Energético en Tiempo Real . . . 1835
Seguridad en aplicaciones de Internet de las cosas . . . 1845
Plataforma robótica de movilidad autónoma . . . 1852

**10 Trabajo de cátedra de 4to nivel en adelante 1860**
Guía Silenciosa Bastón Inteligente con IA para Personas con Discapacidad Visual . . . 1861
Gestión Inteligente de Cultivos ante Incertidumbre Climática y de Mercado mediante Redes Neuronales Feedforward y Programación Estocástica para la región de Tucumán . . . 1868
Planificación de sistemas fotovoltaicos del tipo on grid utilizando programación lineal . . . 1876
SGE 3.0 - Reingeniería del Sistema de Gestión del departamento de ingeniería Electrónica . . . 1884
Sistema Inteligente de Evaluación de Ejercicios Físicos . . . 1891
Resolución generalista de rompecabezas tridimensionales mediante aprendizaje profundo y heurísticas . . . 1896
Apoyo al Diagnóstico de Afecciones Neurológicas con Redes Neuronales, Lógica Difusa y Sistemas Expertos . . . 1900
Implementación de un sistema hidropónico vertical para maximizar la producción de hortalizas mediante programación lineal . . . 1907
Evaluación del impacto de implementaciones WAF en microservicios . . . 1915
GardenBot Monitoreo Inteligente de Cultivos con Robot Autónomo . . . 1920
Generación automática de resúmenes de entrevistas radiales mediante el uso de Inteligencia Artificial . . . 1927
Distribución óptima de repartidores para aumentar la capacidad de entrega diaria en una plataforma de delivery según franjas horarias . . . 1937
Modelo de Recolección y Clasificación de Residuos en la Fiesta Nacional de la Pachamama con Beneficios para la Comunidad y Medio Ambiente . 1943
Interoperabilidad en Sistemas de Salud mediante la normalización HL7 y la Inteligencia Artificia . . . 1950
SUAP Sistema Universitario de Acompañamiento y Permanencia Una Experiencia con SCRUM . . . 1959
Mapeo Sistemático de la Literatura sobre Predicción de Demanda en Retail con Modelos LSTM . . . 1967
Sistema de Generación de Resúmenes Automáticos . . . 1975
Diseño UX en Aplicaciones Medicas . . . 1983
IDENTIFICACIÓN DE LA DEMANDA NECESARIA PARA ALCANZAR EL PUNTO DE EQUILIRIO ECONÓMICO UTILIZANDO PROGRAMACIÓN LINEAL POR METAS1989
Hacia un Transporte de Cargas Sostenible en Argentina Modelos Dinámicos de Emisiones de CO2 . . . 1995
Diseño de un método de asignación de terrenos con infraestructura para la Comunidad Indígena Amaicha del Valle mediante modelos de programación lineal. . . . 2003
Diseño e implementación de un robot a tracción diferencial . . . 2011

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Prototipo de Bebedero Automático para Mascotas . . . . . 2019
Modelos de micropagos descentralizados SUna propuesta basada en blockchain para servicios digitales . . . . . 2024
Testing de Software Potenciado por Inteligencia Artificial Estado Actual y Perspectivas Futuras . . . . . 2031
Conteo automático de glóbulos rojos y blancos en imágenes microscópicas de sangre . . . . . 2040
Análisis de la relación entre parámetros de impresión 3D y medidas finales de piezas impresas en PLA . . . . . 2045
Sistema de Evaluación de Calidad de Datos en CifraGestión . . . . . 2054
Automatización del Diseño 3D para Fabricación Aditiva Propuesta de un Sistema de Asistencia Inteligente . . . . . 2062
Propuesta de reasignación estratégica de agentes sociosanitarios en Amaicha del Valle aplicando programación lineal . . . . . 2066
Tutor de Lectura Infantil con IA . . . . . 2074
Minería 4.0 en Catamarca Un Marco de Inteligencia Artificial Integrado para la Clasificación Automatizada de Minerales en Operaciones Mineras de Catamarca . . . . . 2079
Marco de Ciberseguridad para PYMEs Argentinas Frente a la Tercerización Cloud Diagnóstico Regional y Propuesta con IA y Herramientas Abiertas2087

*Capítulo*

# 1

# *Aplicaciones Informáticas y de Sistemas de Información*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# CoVaMaT 1.0: Gestión de la variedad y reuso en el desarrollo de sistemas big data

Francisco Torres
*GIISCo, Facultad de Informática*
*Universidad Nacional del Comahue*
Neuquén, Argentina
francisco.torres@est.fi.uncoma.edu.ar

Alejandra Cechich
*GIISCo, Facultad de Informática*
*Universidad Nacional del Comahue*
Neuquén, Argentina
alejandra.cechich@fi.uncoma.edu.ar

Agustina Buccella
*GIISCo, Facultad de Informática*
*Universidad Nacional del Comahue*
Neuquén, Argentina
agustina.buccella@fi.uncoma.edu.ar

***Abstract*—En la práctica, el crecimiento de sistemas de big data (SBD) está obligando a la comunidad de Ingeniería de Software a replantearse un cambio de paradigma en el desarrollo de estos sistemas, que se asocia especialmente a la correcta identificación y explotación de los datos y a su correspondiente calidad. Entre las características de calidad, se encuentra la *variedad*, que se refiere a gestionar los datos en términos de su diversidad. La variedad ha sido también considerada desde el punto de vista de incorporar semántica al proceso de modelado, incluso relacionando propiedades de calidad como interoperabilidad, seguridad, reusabilidad, etc. En trabajos anteriores, hemos definido un proceso para gestionar la variedad en SBD reusables; sin embargo, el proceso requiere de una herramienta de soporte para su viabilidad y transferencia a la industria. En este artículo, describimos el desarrollo de la primera versión de esa herramienta (CoVaMaT: Context-Based Variety Management Tool) mediante su aplicación en casos del dominio de la agricultura de precisión.**

***Index Terms*—Sistemas big data, variedad, reusabilidad**

## I. Introducción

En SBD, la reusabilidad ha sido abordada desde diversos ángulos. Por ejemplo, en [21] se discuten conceptos de reusabilidad en el contexto de analítica de datos, distinguiendo entre uso y reuso del dato. Se proponen diversas cuestiones de investigación abiertas en reuso, como aspectos de conveniencia entre recolectar nuevos datos y reusar otros existentes; la necesidad de distinguir entre uso y reuso; etc. Más específicamente, pero en el mismo sentido, en [8] se profundizan aspectos de privacidad en el contexto de reusabilidad de datos. Allí se propone una taxonomía en reuso de datos que pueda ser útil para determinar en qué medida ese reuso debe ser permitido y bajo qué condiciones para preservar privacidad.

Otras propuestas abordan aspectos de reuso en términos de aumentar la colaboración en el desarrollo de SBD mediante el uso de nuevas tecnologías (ej. computación en la nube). Por ejemplo, en [28] se propone un enfoque de gestión de SBD mediante capacidades de almacenamiento y procesamiento en una nube pública y se ejemplifica su uso. Adicionalmente, las distintas plataformas de soporte para desarrollo de SBD también se abordan desde un punto de vista de reuso; por ej. más concretamente en [1] se analiza la mejora en la eficiencia de herramientas como Apache Hadoop[1] y Spark[2] debido al reuso de artefactos entre diversos proyectos. Para ello, se analizan aspectos comunes y se provee de un flujo de trabajo implementado de manera escalable y extensible.

Por el lado de la gestión del reuso, en [12] se realiza un análisis exploratorio a través de entrevistas con científicos de Microsoft, de donde se obtienen qué tareas dentro del ciclo de vida son reusadas y, junto con ellas, estrategias para compartir el trabajo realizado en la misma actividad de un proyecto diferente.

También puede abordarse la el modelado de SBD y la reusabilidad en términos de:

- *Cómo pueden componerse las arquitecturas de los propios SBD*. En este sentido, en [14] se incorpora la detección de aspectos comunes y variables dentro del desarrollo de sistemas big data a modo de construir fami-lias de sistemas. En este trabajo se presenta una arquitectura de referencia que le permite a los diseñadores de sistemas: (1) definir requerimientos, la arquitectura de referencia identifica requerimientos significativos y muestra variaciones según el tipo de requerimiento; (2) desarrollar y evaluar soluciones, la arquitectura identifica módulos que deben ser desarrollados para poder permitir cierta capacidad requerida; y (3) integrar sistemas, sistemas existentes pueden ser mapeados a los módulos de la arquitectura de referencia, lo que deriva en una fácil identificación de puntos de conflicto donde debe trabajarse la interoperabilidad entre los sistemas. Componentes del paradigma Component Off-The-Shelf (COTS), o de otras tecnologías reusables, pueden ser mapeados a módulos particulares dentro de esta arquitectura; lo que permite evaluar cómo la tecnología en cuestión contribuye al desarrollo de la solución y el impacto que tiene sobre otros elementos.
- *Herramientas recomendadoras.* Se han propuesto diferentes enfoques, como AutoML [26], Metaaprendizaje [26] e IA Explicable [6], para abordar el problema de la selección y configuración de componentes de software para soluciones de aprendizaje automático; sin embargo,

[1]https://hadoop.apache.org/
[2]https://spark.apache.org/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sólo enfocan parcialmente en el problema de la reusabilidad. Por ejemplo, AutoML sigue un proceso conocido por producir modelos de caja negra difíciles de interpretar [29]. Más cercano a nuestra propuesta, AssistML [27] recopila y preprocesa metadatos de soluciones de aprendizaje automático existentes para identificar las que pueden reutilizarse en un nuevo caso de uso. Sin embargo, se enfoca en recomendar soluciones de aprendizaje automático según las preferencias de rendimiento de los usuarios y la reusabilidad no es abordada más que tangencialmente.

A diferencia de estos trabajos, nuestro enfoque incluye información de contexto (o entorno) para guiar el modelado de variedad y, consecuentemente, el reuso de artefactos diseñados en un SBD. El modelo de procesos de identificación de variedad se gestiona desde dos puntos de vista y se soporta mediante el almacenamiento de artefactos denominados *hojas de datos* o *datasheets*, que provienen originariamente del modelado de líneas de productos software. Nuestra adaptación y gestión de datasheets permite la documentación de variedad en SBD y su posterior reusabilidad en casos referidos a un contexto. La propuesta se sustenta en el uso de CoVaMaT para permitir que el proceso sea gestionado y eventualmente medido [3], facilitando el desarrollo de SBD.

En [19] hemos presentado la funcionalidad de CoVaMaT a través de la descripción conceptual de sus servicios, procesos y eventos. Sin embargo, la implementación y las decisiones de diseño que soportan la primera versión definen su alcance actual y, consecuentemente, sus posibilidades de soporte. De ahí la importancia de describir la herramienta, considerando también futuras extensiones. Además, dado que la herramienta CoVaMaT es de código abierto, es fundamental dar a conocer sus funcionalidades y algunos aspectos de su implementación, para promover a las personas interesadas a que puedan contribuir con nuevas extensiones de manera colaborativa.

Este artículo se organiza de la siguiente manera. La siguiente sección resume brevemente nuestra propuesta de gestión de variedad y los elementos que la componen. Luego, la sección 3 presenta las decisiones de diseño que subyacen a la primera versión de CoVaMaT, así como su implementación. A continuación, se ejemplifica el uso en casos de estudio y, finalmente, se discuten limitaciones y trabajos futuros.

## II. Gestionando la variedad mediante dos enfoques

### A. Nuestra definición de variedad

En trabajos anteriores [7], [18], hemos extendido y adaptado las definiciones de variedad arribando a cuatro tipos de variedades, que serán las abordadas en este artículo: (1) *variedad de fuentes*, que denota los diferentes tipos de fuentes de datos que pueden ser útiles para el problema del dominio, como estructuradas, semiestructuradas y sin estructura, y los métodos de recopilación, como publicación-suscripción, procesamiento de eventos, etc.; (2) *variedad de contenido*, que identifica variables o factores extraídos de fuentes que son útiles cuando se consideran como una característica de análisis; (3) *variedad de proceso o procesamiento*, que recopila información sobre técnicas para la limpieza y el análisis de datos; y (4) *variedad de contexto*, que denota la situación o las condiciones bajo las cuales se puede aplicar el análisis en el dominio del problema. Por ejemplo, podríamos establecer un caso con condiciones climáticas y suelo específicos (variedad de contexto), recopilar datos de conjuntos de datos estructurados (variedad de fuentes), seleccionar características relevantes para el caso como temperatura, precipitaciones, etc. (variedad de contenido) y analizar los datos utilizando diferentes técnicas de correlación (variedad de procesamiento).

La variedad de contexto es el principal artefacto ya que proporciona la base para la reutilización. Define variaciones de dominio que limitarán y afectarán los resultados del proceso. Introduzcamos un ejemplo. Los diferentes tipos de contextos dependen de cada dominio; por ejemplo, para el dominio de la hidrología, los cuerpos de agua pueden clasificarse como ríos, lagos, mares, aguas subterráneas, etc., y los flujos de agua pueden verse influenciados por la climatología, la geología, etc. En particular, el estado de la práctica para predecir las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas en función de las variables meteorológicas es extenso. Por ejemplo, en el estudio en [30], se examinan las tendencias generales en la variación climática local en el área de Winnipeg, Canadá, analizando la relación entre estas tendencias y las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas. A partir del análisis de los datos, se concluye que estos niveles muestran una fuerte correlación tanto con la *precipitación anual* como con la *temperatura media anual*. En este punto, podríamos preguntarnos si estas variables son igualmente relevantes en cualquier análisis similar de las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas. Luego, a partir de otro análisis realizado en la cuenca mediterránea, un área geográfica distante a la anterior, donde el Instituto de Ciencias Atmosféricas y Clima del Centro Nacional de Investigación Italiano (ISAC-CNR) ha tomado medidas de fluctuaciones de un acuífero en la zona kárstica [9], se concluyó que la *precipitación* y la *humedad del aire* son las variables significativas. Claramente, las variables relevantes son diferentes para ambos casos. Esto podría indicar que las variables que afectan las fluctuaciones del agua subterránea (variedad de contenido) podrían estar influenciadas por características contextuales específicas (variedad de contexto). El área mediterránea es boscosa, con una precipitación anual promedio de 1,67 mm (2017-2022) y suelos arenosos, permeabilidad muy rápida y pozos ubicados en las proximidades de áreas urbanas. Consultando la opinión de expertos, se consideró razonable esperar esas relaciones en este contexto; es decir, las variables meteorológicas más significativas serán las señaladas para la zona mediterránea, a diferencia de la zona de Canadá, que es una llanura de inundación de baja altitud con una topografía extremadamente plana (el nivel de precipitaciones sumado a la vegetación hace que la humedad del suelo sea muy relevante en la zona mediterránea).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*B. Datasheets para documentar variedad*

La noción de *hojas de datos funcionales* o *datasheets* fue introducida en trabajos anteriores [2], [4] y contiene un modelo de variabilidad para documentar líneas de productos software usando una combinación de notación UML y OVM (modelo de variabilidad ortogonal) [22]. Para construir cada una de ellas, se utiliza una plantilla con la siguiente información:

1) **Id:** una identificación (como un número o código),
2) **Nombre:** una descripción textual de la principal función,
3) **Dominio:** el dominio en el cual está incluida la funcionalidad de la presente datasheet,
4) **Servicios:** una lista de servicios utilizada para representar la funcionalidad,
5) **Modelos de Variabilidad (Gráfico):** conjunto de artefactos gráficos mostrando las interacciones entre servicios (comunes y variantes), y
6) **Archivo JSON:** especifica los servicios y sus interacciones.

Para identificar y documentar la variabilidad en datasheets en líneas de productos software, es necesario definir los siguientes conceptos:

- **Sujeto de Variabilidad (Variability Subject)**: es un elemento variable del mundo real, o una propiedad variable de tal elemento. Ejemplo: el color de un auto.
- **Objeto de Variabilidad (Variability Object)**: es una instancia particular de un sujeto de variabilidad. Ejemplo: color rojo, verde, rosa, etc.
- **Punto de Variación (Variation Point)**: es una representación de un sujeto de variabilidad dentro de artefactos de dominio enriquecidos con información de contexto.
- **Variante (Variant)**: Una representación de un objeto de variabilidad.

Este artefacto se utiliza para modelar funcionalidades de diseño; sin embargo, en el caso de modelado de variedad en sistemas big data, en [20] se aplicó una vista simplificada para adaptar la representación de datasheets al modelado de analítica reusable. Particularmente, los *Variation Points (VP)* y las *Variations* se limitaron al caso de exponer una estructura donde un VP tendrá una etiqueta y una lista de variaciones. Por simplicidad, no se utilizaron las diferentes relaciones que pueden existir entre estos elementos ni tampoco los puntos opcionales, alternativos, etc. Además, no se restringe a que un VP deba ser instanciado por una sola variación, sino que para un VP pueden especificarse qué variaciones se utilizan en el caso en cuestión.

Entonces, la variedad dentro de un dominio puede ser definida en términos de los conceptos anteriores. A modo de ejemplificar, en la parte superior de la Figura 1 se tiene un caso de variedad asociado a los distintos tipos de fuentes (VP: Variation Point), que pueden ser datos estructurados, no

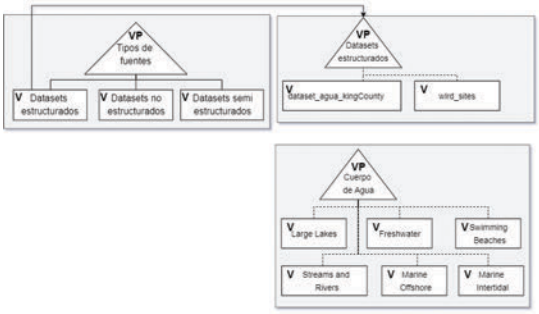



Figura 1. Ejemplo de puntos de variación y variedad (extraído de [20] )

estructurados y semi-estructurados (V: Variants). Los datos estructurados se desagregan a su vez en otro VP que registra los nombres de los datasets que corresponden a esa categoría (ej. *dataset_agua_kingCounty*). En la parte inferior de la Figura 1 puede verse otro ejemplo para los distintos tipos de cuerpos de agua que pueden encontrarse en el dominio hídrico.

*C. Los dos enfoques: T-VIP y B-VIP*

Nuestro proceso de identificación de variedad (VIP: *Variety Identification Process*) en SBD puede iniciarse desde la evidencia que presenten los datos en las fuentes (enfoque bottom-up); desde el análisis conceptual del dominio (enfoque top-down); o con una mezcla de ambos casos. En [18] esos enfoques se discuten con cada uno de sus pasos, incluyendo la caracterización de dominio que deriva en la construcción de artefactos mediante los cuales se resguardan variables y relaciones relevantes para describir contextos similares.

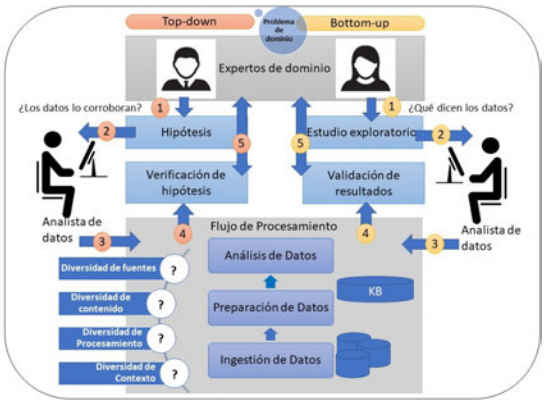



Figura 2. Enfoques T-VIP y B-VIP para identificación de variedad [18]

La Figura 2, muestra los dos enfoques paso a paso:

- Enfoque top-down (T-VIP): en este enfoque, a la izquierda de la figura, (1) dado un problema de dominio, el usuario experto elabora una o más hipótesis que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



deberán ser probadas mediante análisis de datos (¿los datos lo corroboran?); (2) luego, en base a esas hipótesis, analistas de datos proceden a realizar las tareas del flujo de procesamiento (3); finalmente, los resultados permiten verificar las hipótesis (4) posiblemente visualizando los datos de diferentes maneras, incluso permitiendo reformulaciones (5).

- Enfoque bottom-up (B-VIP): en este enfoque, a la derecha de la figura, (1) dado un problema de dominio, el usuario experto decide iniciar un estudio exploratorio para averiguar lo que los datos pueden revelar sobre ese problema (¿qué dicen los datos?); (2) luego, el estudio es llevado a cabo por analistas de datos aplicando las actividades del flujo de procesamiento (3); finalmente, los datos retornan (4) para ser validados por expertos, finalizando el proceso o reiniciando la búsqueda (5).

## III. CoVaMaT 1.0: soporte al reuso

Antes de describir la funcionalidad soportada por CoVaMaT, es necesario introducir los siguientes conceptos.

- *Instanciación de caso*: consiste en la descripción de un caso de dominio a través de la selección de variaciones. Por ejemplo, en el ámbito de los recursos hídricos, los cuerpos de agua pueden ser ríos, lagos, etc.; y el caso puede corresponder a uno de estos valores (por ejemplo, ríos). Además, para ese río en particular pueden ser relevantes valores de calidad del agua específicos, como oxígeno disuelto, pH, etc. El conjunto de valores seleccionados para todas las variables que son relevantes en el dominio constituye el caso instanciado.
- *Reutilización de casos*: se utiliza para componer una consulta, que recupera aquellos casos ya instanciados en el repositorio que tienen características similares. Esta consulta se compone de un contexto determinado por las variaciones seleccionadas (p. ej. río con variables de calidad del agua enfocadas a determinar la turbiedad). El objetivo es analizar trabajos previos realizados bajo condiciones especificadas para el caso de reutilización y seleccionar las partes de casos anteriores que resulten relevantes a ese nuevo caso.

CoVaMaT incluye tres funcionalidades principales respaldadas por tres servicios, cuatro procesos y tres eventos. Son las funcionalidades para documentación de variedades, creación de instancias de casos y reutilización de casos, respectivamente.

*a) Funcionalidad para documentación de variedades: S-1, P-1 y E-1.:* Esta funcionalidad permite especificar la variedad de dominio de un caso como jerarquías de tipos de variedades, que pueden identificarse mediante análisis de dominio (generalmente T-VIP) o estudios exploratorios (normalmente B-VIP). Por ejemplo, las diferentes posibilidades para cuerpos de agua, parámetros de calidad del agua, etc., son candidatos para especificar variaciones de dominio de los sistemas hidrológicos. Así, los tipos de variedades se detectan cuando se desarrollan casos de dominio y son atendidos por un servicio (S-1), que es apoyado por un proceso (P-1: Documentar la variedad de dominio) cuando un requisito de búsqueda ocurre (evento E-1: Comenzar a buscar variedades).

La variedad se almacena en datasheets y el resultado del proceso es un activo de variedad de dominio que contiene la definición de las variedades para el caso de dominio que se está implementando.

*b) Funcionalidad para la instanciación de casos: S-2, P-2 y E-2.:* Esta funcionalidad permite crear instancias de un caso de dominio mediante la selección de variedades. Por ejemplo, podemos seleccionar el caso de "río" para ejemplificar la variedad de cuerpos de agua; "oxígeno disuelto" para parámetros de calidad, etc. Note que las instancias de variedad posibles fueron creadas previamente por P-1. Luego, las instancias de casos de dominio se crean y almacenan como activos de dominio mediante un servicio (S-2), que es respaldado por un proceso (P-2: Definición de caso de dominio) cuando ocurre una invocación a CoVaMaT (evento E-2: Requerir el uso de instanciación de caso).

*c) Funcionalidad para reutilización de casos: S-3, P-3, P-4 y E-3.:* Esta funcionalidad permite reutilizar activos de variedad de dominio (creados en P-1) y/o activos del caso de dominio (creados en P-2). Por ejemplo, podemos reutilizar el caso de "río" para otro río en una ubicación diferente; "oxígeno disuelto" y "pH" como parámetros de calidad relevantes; etc. Hay que tener en cuenta que reutilizar no implica coincidencia exacta de los activos del dominio. Por lo tanto, las partes interesadas pueden consultar los activos previamente almacenados y compararlos con un contexto particular con el objetivo de detectar casos similares.

Las consultas se basan en el contexto definido por las partes interesadas, recuperando cualquier activo de dominio relacionado (activos de variedad de dominio y/o caso de dominio). Los casos reutilizables son almacenados como activos de casos reutilizables por un servicio (S-3), que está respaldado por dos procesos (P-3: Definición de casos reutilizables; P-4: Consulta de activos de casos de dominio similares) cuando las partes interesadas requieren una reutilización de casos (evento E-3: Requerir reutilización).

### A. Fases de desarrollo de CoVaMaT 1.0

CoVaMaT 1.0 inició su desarrollo en el año 2022 con la especificación de su modelo conceptual de procesos, cuyas funciones acabamos de definir. Los procesos están especificados utilizando el lenguaje ArchiMate[3], un estándar del Open Group, para modelar arquitecturas empresariales, por lo que brinda instrumentos para describir, analizar y visualizar relaciones entre las vistas de procesos y de aplicaciones software que los soportan. Define un lenguaje común para describir distintos niveles y estructuras organizacionales por medio de capas que incluyen los sistemas IT así como su infraestructura tecnológica.

La primera fase de desarrollo (Figura 3 (1)) incluyó la concepción de la herramienta, la especificación del modelo de procesos, la selección de herramientas de la infraestructura

[3]https://www.opengroup.org/archimate-forum/archimate-overview

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



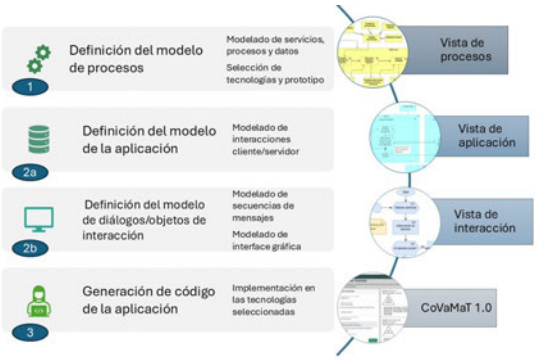



Figura 3. Fases de desarrollo de CoVaMaT 1.0

tecnológica y un primer prototipo para evaluar su viabilidad. Estos resultados fueron publicados en [19], [20].

La segunda fase de desarrollo incluyó dos etapas realizadas en paralelo (Figura 3 (2a)(2b)). La etapa (2a) modeló las interacciones en una arquitectura Cliente-Servidor, especificando mediante elementos de la capa de sistemas IT del lenguaje ArchiMate, lo que asegura trazabilidad y consistencia con el modelo de procesos desarrollado anteriormente. La etapa (2b) consistió en seleccionar la notación y técnicas para modelar los diálogos (secuencias de mensajes) de la interface, incluyendo el diseño e implementación (en algunos casos) de los objetos de interacción. Los diálogos fueron documentados mediante diagramas de flujo [11] y extendidos para incluir condiciones de verificación de calidad de los datos ingresados [13], [16].

La tercera fase (Figura 3 (3)) inició a partir del prototipo creado en la fase 1, después de generar una primera especificación completa de la fase 2. De manera iterativa, se fueron refinando versiones intermedias hasta arribar a CoVaMaT 1.0 (modificando o extendiendo elementos incluidos en la fase 2).

Resumiendo, las fases se caracterizaron por un desarrollo incremental, basado en requerimientos y procesos conceptuales establecidos en la primera fase, que siguen vigentes en la funcionalidad actual de la herramienta.

### *B. Decisiones en tecnología*

Las tecnologías usadas para implementar cada capa de CoVaMaT 1.0 en una arquitectura *Cliente-Servidor*, pueden verse en la Figura 4.

Para el componente *Web*, en este primer prototipo [20], [25] se decidió utilizar el framework de *javascript React js*[4]. Esta tecnología permitió desarrollar interfaces de usuario web de una forma dinámica y orientada a componentes.

Para los componentes *Cliente* y *Servidor* se optó por utilizar *Apollo*[5], el cual provee dos prestaciones esenciales para llevar adelante la primera versión de CoVaMaT. La primera, *Apollo Client* es una librería de *javascript* destinada principalmente a

[4]https://es.reactjs.org/
[5]https://www.apollographql.com/

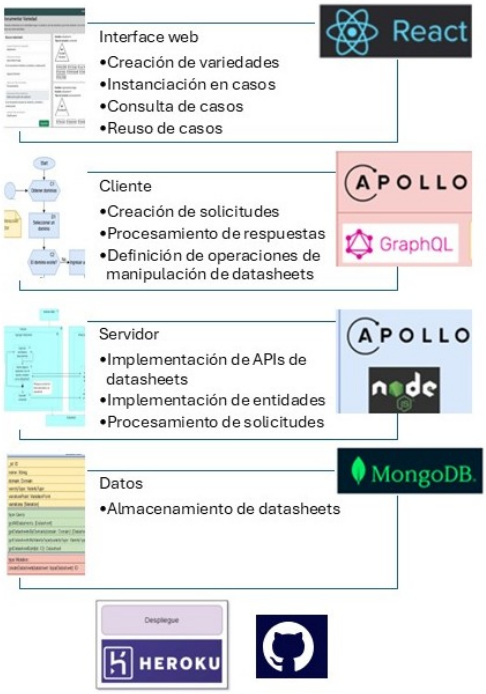



Figura 4. Tecnologías usadas en CoVaMaT 1.0

ser usada en conjunto con *React js* para generar las solicitudes; y la segunda, *Apollo Server* con *Node js*[6] es un entorno de ejecución de javascript que permite realizar la puesta en marcha de servidores de una forma rápida y sencilla, ya que permite vincular la solicitud con la función que la resuelve. *Apollo* funciona sobre el lenguaje de modelado llamado *GraphQL*[7].

Para la base de datos, la primera versión decidió utilizar una base de tipo *NoSQL* documental, dado que por la naturaleza de cómo se quería almacenar las datasheets (utilizando jsons) era útil elegir un motor destinado a tal fin. En este caso, la elección recayó en *MongoDB*[8]. En la Figura 5 puede verse el diagrama de clases escrito en el lenguaje *GraphQL* extendido representando cómo se almacenaron las relaciones entre los elementos de una base de datos documental como *Mongo*. Por ejemplo, en la relación de composición que va desde *Datasheet* a *VarietyType*, se entiende que todo el contenido de una instancia de *VarietyType* estará dentro de una instancia de *Datasheet*. Por otro lado, cuando la relación es con referencia, sólo se tendrá una referencia de tipo *id* a la instancia de la clase con la que se relaciona. Por ejemplo, en *Case* se tiene un arreglo de referencias a instancias de *DatasheetInstance*.

[6]https://nodejs.org/es/
[7]https://graphql.org/
[8]https://www.mongodb.com/es

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



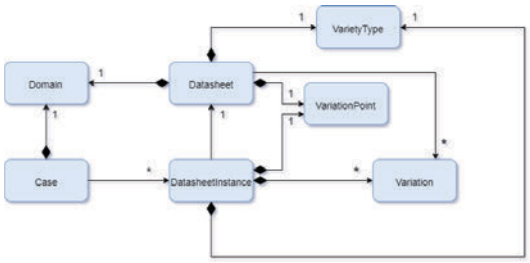



Figura 5. Diagrama de clases extendido (extraído de [20]

Luego, para la sección de desarrollo y despliegue, el primer prototipo decidió utilizar *Github*[9] como almacén de código en forma de repositorio y controlador de versiones; para el despliegue *Heroku*[10], una plataforma en la nube para montar aplicaciones con un plan gratuito; y para permitir portabilidad, facilidad de ejecución, replicación del estado de la aplicación (junto con sus datos) en cualquier máquina, se utilizó *Docker*[11].

Actualmente, CoVaMaT 1.0 es una aplicación web que puede accederse en la siguiente url: https://covamat.fi.uncoma.edu.ar.

La implementación se encuentra disponible en: https://github.com/panchitowok2/front_Covamat/tree/postPrototype.

## IV. Los servicios de CoVaMaT 1.0 en ejecución

En esta sección describiremos el uso de CoVaMaT 1.0 mediante su ejecución en dos casos de estudio llevados a cabo en cooperación con INTA-Alto Valle. Resumiremos la descripción de estos casos para centrarnos en el uso de la herramienta. Las experiencias y resultados completos pueden consultarse en [5].

### A. El dominio y el problema

Según la Organización Mundial de Meteorología [17], la agrometeorología o meteorología agrícola es la ciencia que aplica la meteorología, hidrología y edafología para estudiar la interacción entre la agricultura y el medio ambiente. Su propósito es reducir los impactos climatológicos y ayudar al sector agrícola a prepararse mediante la aplicación de estos conocimientos e información. La agricultura es una actividad altamente dependiente del clima, incluso con los avances tecnológicos en las últimas décadas; difícilmente exista otra actividad que dependa tanto del clima como la agricultura. A su vez, la meteorología agrícola desempeña un papel importante en la comprensión de las emisiones y la contaminación asociadas con sistemas de producción no sostenibles, así como en la gestión del agua y la aplicación de técnicas de acuicultura y pesca.

[9]https://github.com/
[10]https://www.heroku.com/
[11]https://www.docker.com/

La adaptación de la información y los conocimientos producidos por la agrometeorología a las necesidades agrícolas contribuye a generar nuevas prácticas agrícolas o mejorar las ya existentes. Entre estas prácticas se encuentran la sostenibilidad de la industria, el mejoramiento de los cultivos, el aumento en la producción, la reducción de costos y riesgos, la reducción del impacto ambiental y la disminución de pérdidas ocasionadas por el clima. Para lograr esto, es fundamental interpretar correctamente los datos meteorológicos, lo que incluye estrategias de riego, asignación de agua, cuidados contra el viento, selección de lugares, protección contra la erosión, climas artificiales, medidas contra las heladas, entre otros.

En [5] el problema se centra en las heladas, las cuales son un fenómeno climático que plantea una amenaza constante para los cultivos en todo el mundo. Para mitigar los daños causados por las heladas, es crucial prevenir y predecir este fenómeno climático. La prevención y la predicción de las heladas implican el uso de información de alerta temprana sobre las condiciones meteorológicas que conducen a las heladas, lo que permite a los agricultores tomar medidas de protección de manera oportuna. Al recibir alertas tempranas, los agricultores pueden tomar decisiones informadas que pueden marcar la diferencia entre pérdidas catastróficas y una cosecha exitosa. Por lo tanto, comprender las características de las heladas y tomar medidas proactivas es esencial para garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar económico en las regiones afectadas por este fenómeno climático.

### B. Definiendo las hipótesis

Para la definición de las hipótesis en este caso de dominio nos hemos basado en el análisis realizado por los trabajos relacionados de la literatura y la información y conocimiento brindado por los usuarios expertos. En primer lugar, los expertos nos plantearon el requerimiento de conocer si las variables relacionadas con el viento o la lluvia tienen influencia en la ocurrencia de heladas. Para ellos, es sabido que la temperatura influye directamente sobre las heladas, pero se preguntaban si estos eran los únicos factores. Particularmente, querían conocer si había relación del viento y la lluvia con respecto a las mismas. Por ejemplo, ellos podrían afirmar, ”si llueve y/o si hay viento fuerte no hay heladas”, sin embargo, tenían dudas sobre esta relación y su comportamiento real. Algo similar está planteado en los trabajos de Kotikot et al. [15] y Ding et al. [10] donde se analizaron estas variables con respecto a las heladas y se llegaron a relaciones débiles o no concluyentes por sí solas.

De esta forma, planteamos la primera hipótesis como: Hipótesis 1 (H1): *¿Las variables climáticas relacionadas con el viento o lluvia tienen influencia en la ocurrencia de heladas?*

Luego, también era importante conocer el comportamiento de las variables climáticas en momentos previos (minutos, horas o incluso semanas antes) a eventos de heladas, de forma tal de conocer el grado de influencia de las mismas. Así, planteamos la segunda hipótesis: Hipótesis 2 (H2): *¿Hay*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



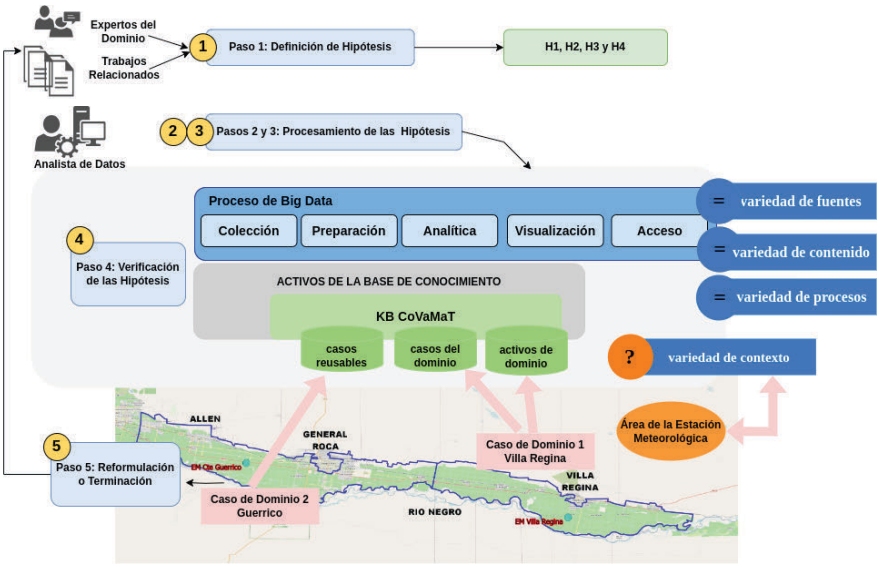



Figura 6. Enfoque Top-Down aplicado a dos casos de dominio (extraída de [5]

*factores climáticos con mayor influencia en la presencia de heladas en momentos previos a su ocurrencia?*.

Finalmente, una tercera hipótesis (H3) nos permite abordar la predicción de heladas: : *¿Se puede lograr un modelo predictivo eficiente utilizando las variables climáticas originales?*.

### C. Procesando las hipótesis

En la Figura 6 se muestra el uso de CoVaMaT 1.0 en la instanciación de dos casos de dominio diferentes. Estos casos describen la implementación de una situación de *variedad de contexto*, en la que los procesos y activos creados para el primer caso se documentan y se reutilizan en el segundo. Podemos observar en la figura que las tres primeras variedades se mantienen iguales, y luego la última (en naranja) es la que incluye la variación en cada caso de dominio.

Por lo tanto, el *Caso de Dominio 1 - Villa Regina* crea *activos del dominio* y *casos del dominio* en el contexto del análisis de datos del área abarcada por la Estación Meteorológica Villa Regina. Luego, el *Caso de Dominio 2 - Guerrico*, dentro del contexto de análisis de una nueva estación meteorológica que abarca otra zona denominada Guerrico, reutiliza los activos previos ya generados en el caso anterior y/o eventualmente crea otros nuevos.

### D. S-1: Documentando la variedad

El proceso de agregar variaciones a una datasheet se descompone secuencialmente en dos pasos que involucran: (1) identificar si la datasheet a ingresar ya ha sido creada, de manera de poder decidir entre dos opciones: seleccionar una existente o crearla; y (2) ingresar las variaciones a la datasheet elegida (o creada).

*a) Variedad de contexto.:* En la Figura 7 podemos observar el proceso de carga de datos de S-1, que comienza con la datasheet de variedad de contexto. El usuario ingresa por la barra superior al S-1 presionando en “Documentar Variedad”. Luego se visualiza en pantalla la imagen que aparece más a la izquierda y el usuario ingresa el nombre de la datasheet, “datasheet-1”, ingresa el dominio “Agrometeorología”, selecciona el tipo de variedad “Contexto” e ingresa el punto de variación “Areas”. Posterior a eso, presiona el botón “Siguiente” y procede a cargar las variaciones de la datasheet; en este caso solamente ingresa “Area Estación Meteorológica Villa Regina” y presiona el botón “Aceptar”. Luego, de confirmar la operación, se agrega la variación a esa datasheet y se da por finalizada la carga.

*b) Variedad de fuentes.:* El proceso de carga continúa con la datasheet de variedad de fuentes, como podemos ver en la Figura 8. El usuario ingresa el nombre de la datasheet “datasheet-2” y selecciona el dominio del selector, ya que fue ingresado por texto en la datasheet anterior, por lo que el sistema ya lo reconoce como un dominio válido. Luego, selecciona el tipo de variedad “Fuente” y el punto de variación “dataset semi estructurado”.

Posterior a eso, pasa a la pantalla de carga de variaciones, donde ingresa “Estacion Meteorológica Villa Regina”, que representa el *nombre del archivo fuente* desde el cual se realizaron los distintos análisis de datos. El conjunto de datos utilizado se obtuvo de la estación meteorológica Villa Regina, la cual registra datos en intervalos de diez (10) minutos. Se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



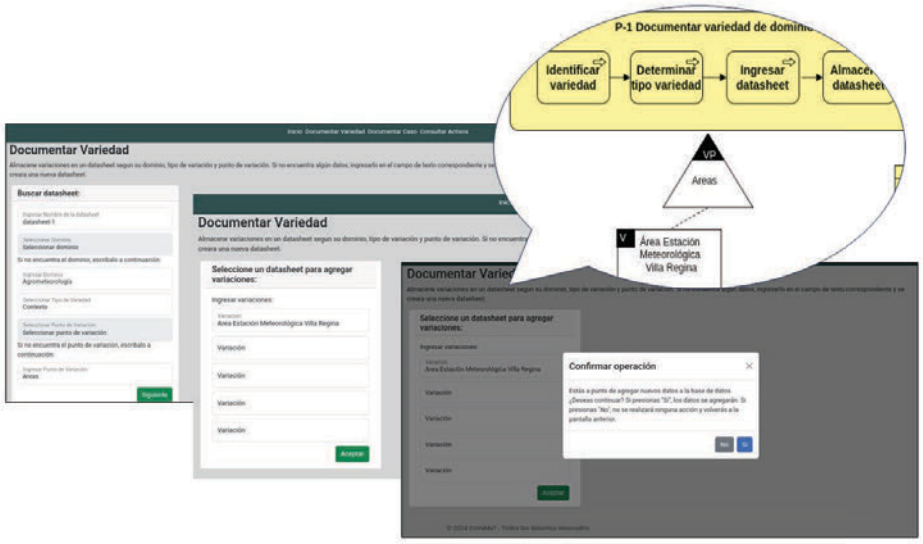



Figura 7. Documentar variedad de contexto

tomó el conjunto desde el 5 de julio de 2009 a las 16:20 hs hasta el 17 de septiembre de 2019 a las 7:20 hs, lo que equivale a un total de 511.263 registros de datos semi estructurados con formato de texto. Hay que notar que este archivo es parte de un caso de estudio mediante el cual se interactúa con los expertos de dominio. El caso de estudio propiamente dicho, con sus hipótesis y demás datos, se ingresa a CoVaMaT mediante S-2, que será detallado en la sección IV-E

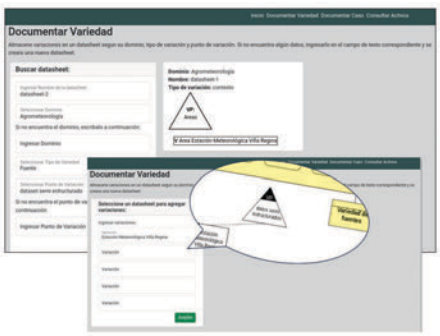



Figura 8. Documentar variedad de fuentes

*c) Variedad de contenido.:* La datasheet de variedad de contenidos (Figura 9) repite la misma operatoria que las anteriores, permitiendo ingresar las variedades en más de una pantalla de ingreso.

El usuario comienza ingresando el nombre de la datasheet

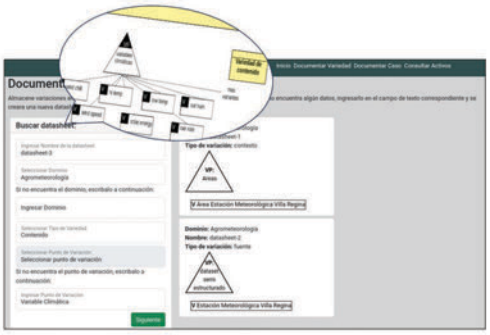



Figura 9. Documentar variedad de contenidos (i)

"datashet-3". También selecciona el dominio, el tipo de variedad "Contenido" e ingresa el punto de variación "Variable Climática".

Durante el análisis del dominio y en referencia al problema de análisis de heladas tardías, se analizaron las variables climáticas registradas. En conjunto con expertos del dominio y con un análisis de la literatura, se eliminaron variables de los archivos fuentes como: dirección del viento, temperatura interna, humedad interna, velocidad máxima del viento, dirección de la máxima velocidad del viento, entre otras. Por otro lado, la variable temperatura promedio (*temp out*, que representa la temperatura promedio del registro) también se excluyó del conjunto de datos ya que el fenómeno de la helada

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Variable | Nombre en español | Tipo |
|---|---|---|
| HiTemp | Temperatura Máxima | Numérico |
| LowTemp | Temperatura Mínima | Numérico |
| OutHum | Humedad Promedio | Numérico |
| DewPt | Punto de Rocío | Numérico |
| WindSpeed | Velocidad del viento | Numérico |
| WindRun | Aire desplazado por el viento | Numérico |
| WindChill | Sensación térmica | Numérico |
| Bar | Presión atmosférica | Numérico |
| Rain | Presencia de Lluvia | Categórico |
| RainRate | Promedio de lluvia | Numérico |
| SolarRad | Radiación solar | Numérico |
| SolarEnergy | Energía Solar | Numérico |
| Hi SolarRad | Máxima Radiación Solar | Numérico |
| ET | Evapotranspiración | Numérico |

Tabla I
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE CONTENIDO SELECCIONADAS (EXTRAÍDA DE [23]

comienza a manifestarse cuando las temperaturas descienden por debajo de los 0°C, por lo que la variable de interés principal en este estudio es la temperatura mínima. La Tabla I presenta el conjunto de 14 variables finales del conjunto de datos. En la misma podemos observar el nombre abreviado en inglés (como proviene de la fuente), su nombre traducido al español y el tipo.

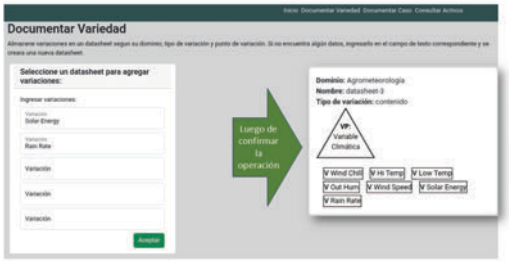



Figura 10. Documentar variedad de contenidos (finalización de carga)

*d) Variedad de procesamiento.:* Como último tipo de variación, el usuario se dispone a cargar las variaciones de procesamiento (Figura 11). Ingresa el nombre de la datasheet "datasheet-4", selecciona el dominio, selecciona el tipo de variedad "Procesamiento", y el punto de variación "Correlación".

En la siguiente pantalla, ingresa las variaciones de procesamiento que indican qué tipo de técnicas de análisis de correlación se efectuaron (o son posibles de efectuar) en el estudio, las cuales son "Pearson", "Spearman" y "Kendall". En la sección IV-E veremos que podemos añadir resultados del caso de estudio a dichas variaciones utilizando S-2.

Finalmente, el usuario registra la datasheet que corresponde al estudio realizado con redes neuronales (Figura 12). El nombre de la datasheet es "datasheet-5"; y se selecciona el dominio, el tipo de variación "Procesamiento" y el punto de variación "Clasificación", que es el que corresponde para este análisis.




Figura 11. Variedad de procesamiento - Correlación

En la siguiente pantalla, el usuario ingresa la variación que indica el tipo de estudio de clasificación que se realizó en este caso, denominado "Redes Neuronales Artificiales". Luego de aceptar la pantalla de confirmación, se da por terminado el proceso de carga para S-1.




Figura 12. Variedad de procesamiento - Clasificación

### *E. S-2: Documentando el caso*

En la Figura 13, podemos ver la carga del nombre del caso ("Estudio de la ocurrencia y detección de heladas") y el dominio al que pertenece, así como de las hipótesis a modo descriptivo. Luego, se comienzan a ingresar variedades, indicando la variedad de contexto instanciada en el área de la Estación Meteorológica Villa Regina (VR).

El caso VR instancia variedades detectadas para este contexto que sean relevantes a las hipótesis de estudio. Para este

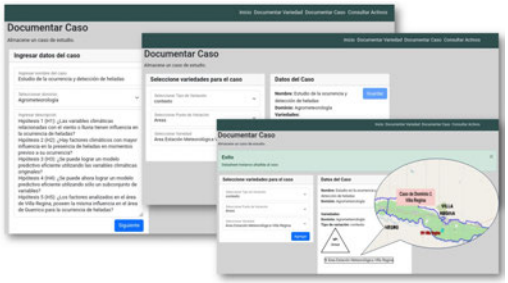



Figura 13. Documentar hipótesis y contexto del caso VR

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



caso, las fuentes de datos meteorológicos se ingresan como variedad de datos semi-estructurados (Figura 14). La misma figura muestra las variedades ya seleccionadas para el caso hasta este momento (rectángulos en rojo en la figura): variedad de contexto y variedad de las fuentes.



Figura 14. Documentar variedad de fuentes del caso VR

La Figura 15 muestra la documentación de la variedad de contenido, donde a través de sucesivos ingresos, se instancian las variables meteorológicas relevantes para el caso. A la izquierda de la figura puede verse la primera variable "Wind Chill" ingresada, luego la segunda "Hi Temp", continuando de manera similar hasta completar la carga a la derecha de la figura.

En cuanto al procesamiento, el caso aplicó primeramente análisis de correlación para evaluar la asociación entre las variables climáticas. En particular se analizaron los 3 coeficientes de correlación: Pearson, Spearman y Kendall. En un primer análisis se compararon las variables Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Humedad Promedio, Punto de Rocío, Velocidad del viento, Aire desplazado por el viento, Sensación térmica, Presión atmosférica, Presencia de Lluvia, Promedio de lluvia, Radiación solar, Energía Solar, Máxima Radiación Solar y Evapotranspiración con respecto a la variable de Temperatura Mínima como objetivo del estudio utilizando el conjunto de datos de la estación Villa Regina.

Este procesamiento, así como los resultados que se obtuvieron en cada caso, se documentan mediante el ingreso de variedad que muestra la Figura 16. Como puede verse en la figura, el tipo de procesamiento realizado fue correlación de Pearson, donde la variable independiente es *LowTemp*, correlacionada con variables como *WindChill* con valor de correlación 0,99; *WindSpeed* con valor 0,48; etc.

### *F. S-3: Reusando el caso*

En el caso de estudio, se aplicó la metodología en un segundo caso de dominio el cual requirió realizar las mismas cinco actividades del enfoque Top-Down, pero ahora sobre un área diferente [23]. Como podemos observar en la Figura 17 el caso se abocó al área abarcada por la Estación Meteorológica Guerrico (GR).

En la Figura 18 podemos observar los pasos para la búsqueda y recuperación de los activos creados para el caso de dominio de Villa Regina y que fueron reusados para Guerrico.

Lo primero que realizamos (número 1 de la figura) fue la búsqueda de los activos en donde se encontró y recuperó el activo de contexto de agrometeorología (Figura 19).

Luego de ser analizado, se determinó que era necesario crear una nueva variedad que ahora incluya el área de Guerrico (número 2, en naranja en la figura). La variedad de contexto posee entonces ahora las dos áreas: Villa Regina y Guerrico (Figura 20).

Luego, utilizamos el proceso P4 para buscar casos del dominio similares, donde recuperamos el Caso de dominio VR (número 3 en la figura) con todos sus activos asociados (Figura 21).

La búsqueda de casos de reuso se realiza mediante la selección de variedades de un contexto dado. La aplicación almacena los parámetros de puntos de variación y de variedades de contexto que selecciona el usuario para realizar una consulta al servidor. En este caso, el usuario selecciona el punto de variación *Áreas*, y la variedad *Área Estación Meteorológica Villa Regina*. A continuación, el usuario presiona el botón consultar para recuperar los casos que instancien esa variedad de contexto. En el ejemplo, recupera las variedades del caso VR.

Con el caso ya recuperado, el usuario evalúa qué variedades que se instanciaron en el caso de Villa Regina se pueden reusar en el caso de Guerrico, permitiendo así el reuso de los activos de dominio. Una vez que el usuario seleccionó todas aquellas variedades que desea instanciar en el caso de Guerrico (Figura 22) y descartó las que no quiere reusar (Figura 23), ingresa el nombre del caso "Caso de Reuso Guerrico", el dominio ya viene pre-seleccionado de la selección de contexto, y en la descripción deja registradas las hipótesis del caso (Figura 24).

Para finalizar el proceso de creación, el usuario confirma la operación para el caso. De esta manera, las variedades seleccionadas se asociaron al nuevo caso Guerrico, creando el caso de reuso a partir del caso VR (Figura 25).

*Consideraciones finales*. Como ejemplificación del uso de CoVaMaT 1.0 hemos resumido algunos aspectos de los casos de estudio, enfocando en la ejecución de los procesos para mostrar el soporte dado por la herramienta.

Los análisis llevados a cabo en estos dos casos son más extensos, incluyendo el análisis con redes neuronales para el aspecto predictivo y una cuarta hipótesis que relaciona los valores de las variables relevantes en ambas zonas a fin de evaluar la similitud ante variaciones de contexto. Los casos de estudio completos pueden verse en [5].

## V. Conclusiones y Trabajos futuros

La herramienta CoVaMaT 1.0 representa un aporte tangible en el área de reusabilidad de sistemas big data, dadas sus prestaciones de soporte a distintas partes del proceso de identificación de variedad y reuso de casos de analítica. Actualmente, está siendo usada en otros casos del dominio de la agricultura inteligente con resultados prometedores.

A diferencia de los enfoques relacionados más cercanos ( [14], [27]), CoVaMaT da soporte a la reusabilidad en contexto,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



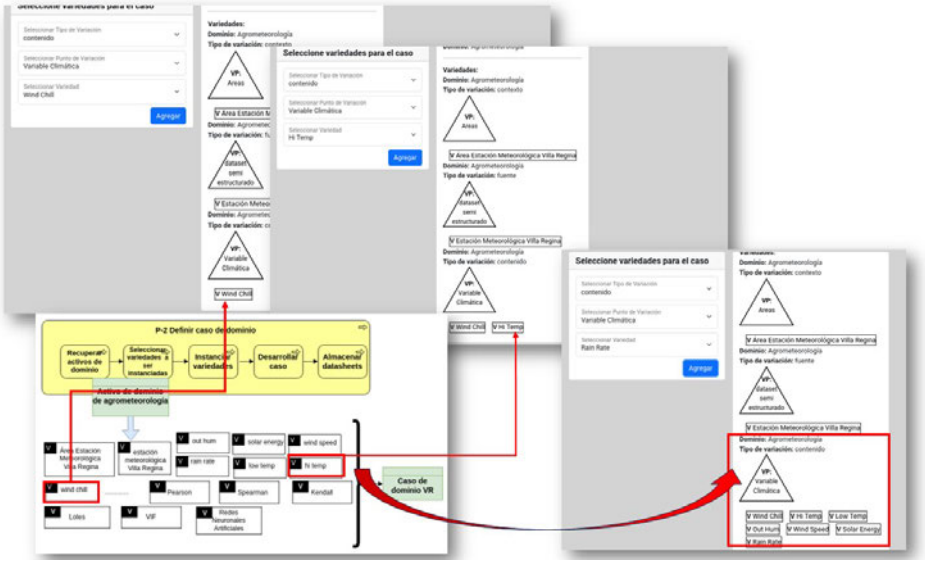



Figura 15. Documentar variedad de contenidos del caso VR




Figura 16. Documentar resultados de procesamiento del caso VR




Figura 17. Caso de dominio 2 en el área de la Estación Meteorológica Guerrico (extraída de [23]

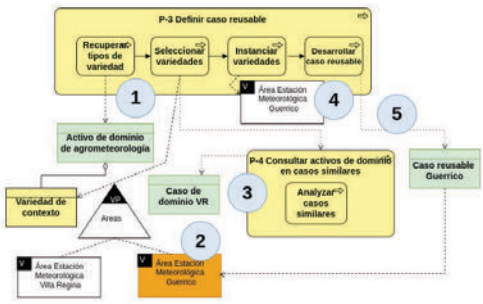



Figura 18. Pasos en la creación del caso de reuso (extraída de [23]

permitiendo optimizar el reuso mediante caracterizaciones de dominio. En ese sentido, en [3] hemos propuesto un modelo de análisis de reuso adaptado de dos trabajos anteriores en los que evaluamos el reuso exitoso durante el desarrollo de Líneas de Productos Software [4]. En este caso, el diseño de CoVaMaT, que considera activos específicos de dominio y casos de aplicación, nos permite evaluar cuáles de esos activos pueden ser completamente reusados (tal como fueron definidos), parcialmente reusados (con adaptaciones) y/ o detectar la necesidad de agregar nuevos. Al mismo tiempo, simplificamos y adaptamos el modelo presentado en [24] proponiendo escenarios de reuso basados en un conjunto de operaciones predefinidas asociadas a CoVaMaT.

En [3] se muestran gráficos de costos para cada escenario de reuso donde los activos del dominio fueron creados al diseñar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 19. Consultar activos: seleccionar contexto

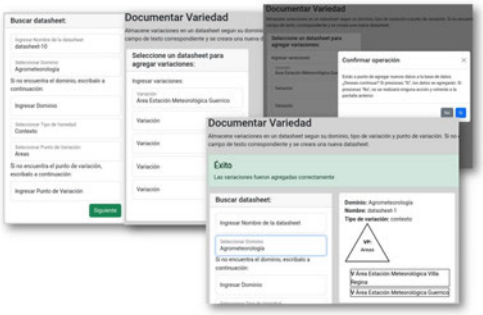



Figura 20. Carga del nuevo contexto Guerrico




Figura 21. Consultar activos: mostrar variedades




Figura 22. Crear caso: variedad seleccionada

el primer caso de Villa Regina, y luego reusados para crear el caso de Guerrico. Los gráficos resaltan el ahorro obtenido (medido en días) en el desarrollo del segundo caso.

Sin embargo, la primera versión es sólo un primer paso en el camino hacia un recomendador que incorpore inteligencia en el proceso de selección de casos. Para ello, se abren diversas extensiones posibles, algunas de ellas ya en curso hacia CoVaMaT 2.0:

- En primer lugar, el modelo de datos actual, basado en una base de datos documental con arreglos de referencias a instancias de datasheets, posee diversas limitaciones en el momento de explorar relaciones. Una estructura con mayores posibilidades de representación (ontologías, grafos de conocimiento, etc.) permitiría inferencias sobre los datos almacenados en un contexto. Por ejemplo, los grafos de conocimiento han sido ampliamente usados en el modelado de diversas aplicaciones de recuperación de información, incluyendo la organización de conocimiento espacio-temporal.
- Relacionado con la representación de los datos, otra mejora en curso aborda el uso de estándares para documentación. Los estándares de dominio son recomendaciones sobre el uso de conceptos preestablecidos, con una semántica y descripción que permite un entendimiento común de los elementos relevantes para ese dominio. Por medio del uso de estándares, se puede unificar y completar el almacenamiento de un elemento dentro del área de estudio. Por ejemplo, en el dominio hidrológico y subdominio de aguas superficiales, existen estándares de metadatos (ej. GRDC Hydrologic Metadata[12]), que permitirían identificar las características hidrológicas en los datos de un dataset. Entonces, los metadatos podrían usarse para especificar qué variables deben almacenarse, permitiendo que cualquiera que utilice la herramienta, haga uso de un vocabulario y definiciones comunes en los datos para ese dominio.
- Finalmente, una tercera mejora en curso se refiere a la ampliación de la documentación de los casos para permitir que se almacenen los archivos con los que se trabaja, ya sean los conjuntos de datos iniciales, luego los preparados e integrados y los códigos que surgen tanto de la preparación misma como de la analítica aplicada. De esta forma, al consultar por casos similares, no sólo se recuperarían las variedades que tiene asociadas, sino todos los recursos utilizados desde el inicio (datasets), código y resultados específicos de las tareas de limpieza, transformación y análisis realizadas sobre los casos recuperados.

## Agradecimientos

Este trabajo es soportado por el proyecto de investigación UNComa 04/F019 y por el convenio GIISCo-INTA Alto Valle Res. FaIF N° 109/21.

[12]https://wbwaterdata.org/dataset/global-runoff-data-centre-grdc

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 23. Crear caso: variedad no seleccionada

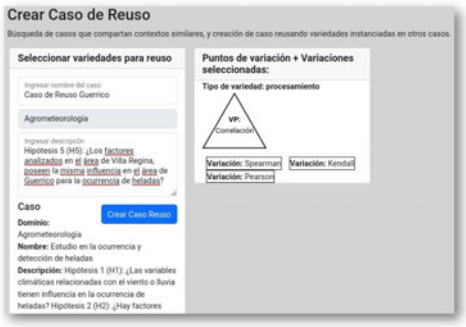



Figura 24. Crear caso: carga de hipótesis

## Referencias

[1] Reuben Borrison, Benjamin Klöpper, Moncef Chioua, Marcel Dix, and Barbara Sprick. Reusable big data system for industrial data mining - a case study on anomaly detection in chemical plants. In *Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2018*, pages 611–622. Springer International Publishing, 2018.

[2] A. Buccella, A. Cechich, M. Pol'la, M. Arias, S. Doldan, and E. Morsan. Marine ecology service reuse through taxonomy-oriented SPL development. *Computers & Geosciences*, 73(0):108 – 121, 2014.

[3] Agustina Buccella and Alejandra Cechich. Un modelo para medir reusabilidad en el desarrollo de sistemas big data basados en contexto. In *Memorias del XXX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)*, pages 792–801. Red de Universidades con Carreras en Informática, 2024.

[4] Agustina Buccella, Alejandra Cechich, Juan Porfiri, and Domenica Diniz Dos Santos. Taxonomy-oriented domain analysis of gis: A case study for paleontological software systems. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 2019.

[5] Agustina Buccella, Alejandra Cechich, Federico Saurin, Ayelén Montenegro, Andrea Rodríguez, and Angel Muñoz. A context-based perspective on frost analysis in reuse-oriented big data-system developments. *Information*, 15(11), 2024.

[6] N. Burkart and M.F. Huber. A survey on the explainability of supervised machine learning. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 70:245–317, 2021.

[7] A. Cechich, A. Buccella, C. Villegas, A. Montenegro, A. Muñoz, and A. Rodríguez. A model of reusable variation in big data system development. In *XI JCC-BD&ET*, 2023.

[8] Bart Custers and Helena Uršič. Big data and data reuse: a taxonomy of data reuse for balancing big data benefits and personal data protection. *International Data Privacy Law*, 6(1):4–15, 2016.

[9] Marco Delle Rose and Paolo Martano. Datasets of groundwater level and surface water budget in a central mediterranean site (21 june 2017–1 october 2022). *Data*, 8(2), 2023.




Figura 25. Crear caso: Caso creado con las variedades seleccionadas

[10] L. Ding, K. Noborio, and K. Shibuya. Frost forecast using machine learning - from association to causality. *Procedia Computer Science*, 159:1001–1010, 2019.

[11] Alan Dix, Janet Finlay, Gregory Abowd, and Russell Beale. *Human-Computer Interaction, 3er edition*. Pearson Education Limited, 2004.

[12] Will Epperson, April Yi Wang, Robert DeLine, and Steven M. Drucker. Strategies for reuse and sharing among data scientists in software teams. In *Proceedings of ICSE-SEIP '22, Pittsburgh, PA, USA*. Association for Computing Machinery, 2022.

[13] Hadi Fadlallah, Rima Kilany, Houssein Dhayne, Rami El Haddad, Rafiqul Haque, Yehia Taher, and Ali Jaber. Context-aware big data quality assessment: A scoping review. *J. Data and Information Quality*, 15(3), aug 2023.

[14] J. Klein. Reference architectures for big data systems, carnegie mellon university's software engineering institute blog. http://insights.sei.cmu.edu/blog/reference-architectures-for-big-data-systems/ (Accessed June 9, 2021), 2017.

[15] Susan M. Kotikot, Africa Flores, Robert E. Griffin, James Nyaga, Jonathan L. Case, Robinson Mugo, Absae Sedah, Emily Adams, Ashutosh Limaye, and Daniel E. Irwin. Statistical characterization of frost zones: Case of tea freeze damage in the kenyan highlands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84:101971, 2020.

[16] Azman Ta'a Onyeabor Grace Amina. Big data and data quality dimensions: a survey. *JOURNAL OF SOFTWARE ENGINEERING INTELLIGENT SYSTEMS*, 2016.

[17] World Meteorological Organization. *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. World Meteorological Organization, 2010.

[18] L. Osycka, A. Buccella, and N. A. Cechich. Data variety modeling: A case of contextual diversity identification from a bottom-up perspective. In *27th Argentine Congress, CACIC 2021, Salta, Argentina, October 4-8, 2021, Revised Selected Papers. Communications in Computer and Information Science 1584*, pages 124–138. Springer, 2022.

[19] L. Osycka, A. Cechich, A. Buccella, A. Montenegro, and A. Muñoz. Covamat: Functionality for variety reuse through a supporting tool. In *XI JCC-BD&ET*, 2023.

[20] Líam Osycka. Modelado bottom-up de variedad de dominio en sistemas big data. Tesis de Licenciatura en Sistemas de Información, 2022.

[21] I.V. Pasquetto, B.M. Randles, and C.L. Borgman. On the reuse of scientific data. *Data Science Journal*, 16(8), 201720.

[22] Klaus Pohl, Günter Böckle, and Frank J. van der Linden. *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2005.

[23] Federico Saurin. Un enfoque top-down de variedad de contexto: Caso de estudio en la ocurrencia y detección de heladas en el alto valle de río negro y neuquén. Tesis de Licenciatura en Sistemas de Información, 2024.

[24] A. Tomer, L. Goldin, T. Kuflik, E. Kimchi, and S.R. Schach. Evaluating software reuse alternatives: a model and its application to an industrial case study. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 30(9):601–612, 2004.

[25] Francisco Torres. La herramienta covamat: Componente cliente y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



extensiones del lado del servidor. Tesis de Licenciatura en Sistemas de Información, 2025.

[26] Joaquin Vanschoren. *Meta-Learning*, pages 35–61. Springer International Publishing, 2019.

[27] Zacarias Villanueva, Peter Reimann, Christian Weber, and Bernhard Mitschang. Assistml: an approach to manage, recommend and reuse ml solutions. *International Journal of Data Science and Analytics*, 16:455–479, 2023.

[28] Zhiwu Xie, Yinlin Chen, Julie Speer, Tyler Walters, Pablo A. Tarazaga, and Mary Kasarda. Towards use and reuse driven big data management. In *Proceedings of the 15th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries*, page 65–74. Association for Computing Machinery, 2015.

[29] Doris Xin, Eva Yiwei Wu, Doris Jung-Lin Lee, Niloufar Salehi, and Aditya Parameswaran. Whither automl? understanding the role of automation in machine learning workflows. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21. Association for Computing Machinery, 2021.

[30] Kirk G. Osadetz Zhuoheng Chen, Stephen E. Grasby. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern manitoba, canada. *Hydrology*, 290:43–62, 2003.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema para adultos mayores con geofencing local y notificaciones personalizadas en Wear OS

Esteban Andrés Carnuccio, Pablo Martín Vera, Rocío A. Rodriguez
*Universidad Abierta Interamericana*
*Buenos Aires, Argentina*
*EstebanCarnuccio@gmail.com*
*{PabloMartin.Vera, rocioandrea.rodriguez }@uai.edu.ar*

## Resumen

*A partir de los 65 años, muchas personas experimentan deterioro físico y cognitivo que puede afectar su independencia, generando preocupación en familiares y allegados. Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo no invasivo para adultos mayores, orientado a aumentar su seguridad y autonomía. La solución combina una aplicación Android y una aplicación Wear OS, integradas para implementar geofencing local, sin depender de servidores externos, y un sistema de notificaciones personalizadas adaptado a este grupo etario. Entre sus funcionalidades se incluyen: creación de áreas de geofencing con distintos niveles de prioridad, configuración de zonas seguras con horarios definidos, verificación de asistencia a citas mediante geofencing y detección de caídas utilizando el servicio nativo de Wear OS, con envío automático de alertas a contactos responsables. El sistema fue validado en un entorno emulado con QEMU, comprobando la correcta integración entre los eventos de geofencing y caídas con las notificaciones personalizadas. El alcance del trabajo se limita a la validación en simulación, sin optimización del consumo energético ni desarrollo de un algoritmo propio de detección de caídas. Los resultados muestran la viabilidad de combinar geofencing local y notificaciones personalizadas en Wear OS como alternativa flexible frente a soluciones comerciales cerradas. De este modo, el trabajo sienta un precedente para la aplicación de esta metodología en distintos proyectos orientadas al beneficio social.*

## 1. Introducción

El envejecimiento de un ser humano no es simplemente el paso del tiempo, sino el resultado de procesos biológicos que pueden cuantificarse, siendo un fenómeno que varía con el tiempo y es modificado por múltiples factores. En este sentido, existe el modelo denominado Hallmarks of Aging [1], en el cual se detallan los principales mecanismos celulares y sistémicos que generan el deterioro funcional característico del envejecimiento biológico, tales como inestabilidad genómica, inflamación crónica, autofagia disfuncional, agotamiento de las células madre, entre otros. Por otro lado, la disfunción mitocondrial y la resistencia a nutrientes esenciales debilitan la eficacia del metabolismo celular, de manera tal que perturban la regulación de los genes y de órganos como el sistema nervioso central, el musculoesquelético y el esquelético [2]. Estos cambios biológicos pueden evidenciarse en el cuerpo humano a través de la pérdida progresiva de fuerza muscular, velocidad de la marcha, masa ósea y equilibrio postural; mientras que, a nivel cognitivo, se manifiestan mediante una reducción en el procesamiento de la información, deterioro de la memoria episódica, declive de las funciones ejecutivas y desorientación. Otro factor que influye en el envejecimiento del cuerpo humano es el factor ambiental y estilo de vida que lleva la persona, ya que factores como el sedentarismo, estrés, sueño deficiente, mala alimentación afectan en gran medida a la calidad de vida del ser humano [3]

Según la OMS, el envejecimiento comienza a partir de los 45 años, etapa que se conoce como envejecimiento temprano [4]. No obstante, después de los 65 años se produce una caída acelerada de la capacidad funcional, acompañada por un declive neurocognitivo sistémico y físico. En este último rango etario, la OMS denomina a las personas como adultos mayores [5]. Por este motivo, muchos individuos de más de 65 años, por lo general, requieren mayor atención o cuidado por parte de sus allegados. Esto puede resultar incómodo para el adulto mayor si es observado constantemente en su vida diaria, ya que podría percibirlo como una pérdida de independencia [6]. En consecuencia, su estado de ánimo puede verse afectado al sentirse limitado en sus actividades cotidianas, al depender de un cuidador o familiar que se encargue de su atención [7].

Uno de los grandes problemas que pueden presentarse en la edad adulta, como se mencionó anteriormente, es la desorientación espacial, así como también los olvidos cotidianos. Un caso típico es, por ejemplo, olvidar acudir en un día y hora específicos a un lugar determinado, como asistir a una cita médica o ir a buscar a los nietos al colegio, entre otras situaciones. Otro escenario posible es no saber dónde se encuentra la persona, aun tratándose de un lugar conocido, lo que podría llevarla a ingresar en sitios peligrosos para su integridad física. Por ejemplo, entrar a un barrio donde la mayoría de las veredas están en mal estado,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



lo que representa un alto riesgo para caminar, ya que podría provocar accidentes como caídas. Si esto ocurre, puede ser especialmente peligroso para el adulto mayor, dado que podría derivar en lesiones en tejidos blandos o fracturas, limitando considerablemente su vida diaria. Como consecuencia, la situación también puede generar una carga emocional y psicológica para los familiares, quienes deberán estar más pendientes de su cuidado, además de ocasionar posibles gastos económicos adicionales.

## Tecnología actual

En este sentido, y aprovechando la tecnología actual, es posible facilitar el monitoreo de adultos mayores sin que ellos se sientan invadidos en su vida diaria. Uno de los mecanismos que pueden emplearse es la geolocalización, mediante técnicas de Geofencing. Este mecanismo consiste en delimitar virtualmente una zona geográfica utilizando GPS, Wi-Fi, Bluetooth u otras tecnologías similares[8] . A partir de ello, se define un perímetro del área y, en consecuencia, cuando un dispositivo móvil entra o sale de este límite, puede desencadenarse una acción programada, como mostrar una alerta. Esta técnica se aplica actualmente en diferentes ámbitos.

En el sector comercial, por ejemplo, la aplicación Uber utiliza geofencing para determinar si el automóvil llegó o no al punto de inicio o al destino final del viaje uber[9]. Otro caso es el de la aplicación de Starbucks, que emplea Geofencing para enviar ofertas personalizadas justo cuando el usuario se encuentra cerca de uno de sus locales [10]. En el área de videojuegos, Pokémon Go utiliza geofencing para definir las zonas de pokeparadas y gimnasios, activando funciones del juego al entrar o interactuar con esas áreas reales en el mapa virtual.

Otra tecnología que puede aprovecharse para el monitoreo de adultos mayores son los dispositivos wearables, también conocidos como vestibles. Estos consisten en sistemas embebidos no invasivos, diseñados para que las personas los lleven en su cuerpo, ya sea como accesorio o integrados en la ropa. Existen diferentes tipos de wearables, siendo los más utilizados en la vida diaria los smartwatches, cuya adopción se estima crecerá de forma exponencial hacia el año 2029 [11].

En la actualidad, la gran mayoría de las personas poseen un smartphone y, en algunos casos, también un smartwatch. Asimismo, un número importante de adultos mayores utiliza alguno de estos dispositivos. Según[12], en el año 2021, el 53% de los adultos mayores censados manifestó utilizar smartphone, por lo que actualmente se estima que esa cifra haya aumentado. En este sentido, el nivel de uso en este rango etario no es especialmente bajo, lo cual podría explicarse porque los nuevos adultos mayores han pasado los últimos 20 años de su vida empleando tecnología móvil. Gracias a ello, su nivel de aceptación hacia estos dispositivos puede ser bastante positivo.

No obstante, cualquier aplicación que se desarrolle, ya sea para smartwatch o smartphone, y que esté destinada a adultos mayores, debería seguir ciertas pautas para garantizar su aceptación y usabilidad. El principal aspecto a considerar es que la aplicación sea de fácil uso para el adulto mayor; es decir, que no presente pantallas complejas y que su funcionamiento sea intuitivo. Si la interfaz incluye demasiada información visual o requiere operaciones complicadas por parte del usuario, es probable que, con el tiempo, este deje de utilizarla, acortando así su ciclo de vida. Otro punto importante, es el tiempo que el adulto mayor necesita para aprender a utilizar el sistema, el cual debe ser breve y sencillo de asimilar. Estos factores son determinantes para la permanencia y utilidad de la aplicación, tanto en smartwatches como en smartphones utilizados por adultos mayores [13][14][15].

Actualmente, existen en el mercado diferentes tipos de smartwatch y smartphone. Una de las principales diferencias entre ambos radica en la forma en que se desarrollan aplicaciones para estos dispositivos.

Hoy en día, la gran mayoría de los smartphones utilizan sistemas operativos Android o iOS, para los cuales existen diversas herramientas de programación. Entre ellas, se encuentran lenguajes multiplataforma como TypeScript, WebMovil, Flutter, entre otros. Sin embargo, estos presentan la desventaja de limitar el rendimiento de las aplicaciones, ya que no permiten acceder completamente a las prestaciones del hardware. Esto se debe a que generan programas no optimizados para ejecutarse de manera eficiente en el sistema nativo, como en el caso de Android.

En contraposición, existen lenguajes que sí permiten desarrollar aplicaciones nativas, como Java y Kotlin. Para generar este tipo de programas, es necesario utilizar el entorno de desarrollo integrado (IDE) provisto por Google denominado Android Studio, el cual incluye el framework y las herramientas necesarias.

Por otro lado, la programación de un smartwatch puede diferir considerablemente, dado que existen numerosos fabricantes de relojes inteligentes en el mercado y la forma de crear aplicaciones para ellos varía ampliamente. La mayoría de estos dispositivos cuentan con sistemas operativos cerrados que no permiten el desarrollo de aplicaciones de terceros, limitando su uso a las funciones que ofrece el fabricante. Este es el caso de los smartwatches económicos, como los de la marca NogaNet, para los cuales no existe un SDK que permita desarrollar aplicaciones nativas.

En cambio, algunos fabricantes ofrecen herramientas de desarrollo para que terceros puedan crear aplicaciones para sus dispositivos. Entre estos se encuentran aquellos que utilizan el sistema operativo Wear OS, desarrollado por Google a partir de Android y optimizado específicamente para funcionar en dispositivos wearables con bajo consumo de recursos [16]. Por consiguiente, para desarrollar aplicaciones destinadas a smartwatches que utilicen este sistema operativo es necesario emplear el Android SDK, que proporciona las bibliotecas y APIs correspondientes.

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue desarrollar una herramienta prototipo orientada a asistir en el monitoreo de adultos mayores, con el fin de brindarles

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mayor independencia sin que se sientan restringidos en su vida diaria. De este modo, sus allegados pueden recibir alertas ante actividades de riesgo o situaciones que requieran atención, y actuar rápidamente en consecuencia.

El sistema desarrollado está compuesto por dos componentes que funcionan de manera integrada. El primero consiste en una aplicación parcialmente standalone[1] para teléfonos inteligentes Android, que emplea mecanismos de Geofencing para el monitoreo del adulto mayor. Se la considera parcialmente standalone porque el único servicio externo que utiliza es Google Maps, exclusivamente para la visualización de mapas. Todo el procesamiento de las áreas de geofencing se realiza localmente en el propio dispositivo, sin depender de servidores externos, utilizando para ello las funcionalidades que provee el framework Android Studio.

La aplicación para Android permite configurar diferentes tipos de geofencing, que se activan en función de la ocurrencia de determinados eventos. También es posible definir zonas seguras, especificando el horario habitual en que el adulto mayor puede permanecer en ellas. En caso de que salga en un horario no previsto, se enviará una alerta a la persona responsable. Asimismo, mediante Geofencing, se puede detectar si la persona asiste o no a una cita en una fecha y horario determinados, notificando vía SMS al contacto responsable en caso de inasistencia.

El segundo componente corresponde a una aplicación desarrollada para Wear OS, que optimiza y simplifica las notificaciones en relojes inteligentes para que sean fáciles de utilizar y visualizar por parte de los adultos mayores. El sistema de notificaciones incorpora distintos niveles de prioridad, de forma que, según la importancia del evento, se alertará tanto al adulto mayor como al contacto responsable, en su smartphone y en su smartwatch. Además, aprovechando los sensores de hardware presentes en algunos dispositivos para la detección de caídas, se desarrolló un sistema de alerta que emplea las funcionalidades provistas por el framework, permitiendo notificar de forma inmediata la ocurrencia de estos eventos.

## 2. Trabajos Relacionados

Existen diferentes trabajos que abordan el problema central del monitoreo de adultos mayores mediante dispositivos móviles. El término E-Health [16] comprende la utilización de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el ámbito de la salud. En este sentido, si nos enfocamos en aplicaciones móviles y dispositivos wearables orientados al área de la salud, es posible encontrar la siguiente clasificación en diferentes categorías de programas destinados al monitoreo de adultos mayores, según su objetivo.

La primera categoría de E-Health está constituida por aplicaciones que buscan controlar el bienestar general y la calidad de vida del adulto mayor. En este rubro se encuentra el artículo[17], que consistió en una revisión sistemática en la que se analizaron 39 programas de bienestar general. Como resultado de esta investigación, se sugiere que existe poca aceptación por parte de los usuarios, ya que el diseño de las aplicaciones no está adaptado para adultos mayores. Esto se debe a que no se consideran sus limitaciones físicas, cognitivas y sensoriales, lo que provoca que el aprendizaje para utilizarlas requiera demasiado tiempo.

La segunda categoría corresponde a aquellas que facilitan el control de enfermedades y condiciones clínicas. Un ejemplo es un estudio que presenta un análisis exhaustivo de herramientas para el manejo de la diabetes [18]. Estas permiten registrar niveles de glucosa, configurar recordatorios de medicación, llevar control de la dieta y recibir retroalimentación.

La tercera categoría está representada por soluciones de monitoreo remoto de pacientes (Remote Patient Monitoring, RPM). Un caso es [19], una aplicación que supervisa signos vitales mediante la integración de sensores corporales y un smartphone. En caso de detectar un valor anómalo, producto de una emergencia, el sistema alerta automáticamente a un familiar y al servicio de emergencias médicas.

La cuarta categoría agrupa desarrollos basados en sensores wearables y reconocimiento de actividades. Aquí destaca el estudio [20], que emplea datos de un smartwatch para identificar patrones de marcha en adultos mayores, utilizando su acelerómetro y giroscopio. Así, es posible detectar tambaleos, tropiezos y caídas. Otro ejemplo es [21], donde se analiza el uso de un smartwatch comercial para medir la saturación de oxígeno y comparar los resultados con dispositivos médicos.

De acuerdo con esta clasificación, el sistema presentado en este artículo se asocia a la última categoría, ya que emplea sensores como el GPS para detectar eventos de geofencing vinculados con las actividades diarias del usuario, además de los del smartwatch para identificar caídas.

Asimismo, existen investigaciones centradas en la geolocalización. En [22], se utiliza el smartwatch Fitbit Surge para realizar el seguimiento por GPS del adulto mayor, además de registrar datos de otros sensores. Estos se almacenan en la memoria del dispositivo y, tras tres días, se cargan en el sitio web de Fitbit. La limitación de esta solución es que no permite el seguimiento en tiempo real. En [23], en cambio, se desarrolló la aplicación para smartphone MyWalk, que monitoriza las caminatas de adultos mayores usando el GPS del móvil. Por último, en [24]se revisaron distintos trabajos que emplearon smartwatches para geolocalizar personas con demencia, siendo en su mayoría dispositivos comerciales.

Cambiando de contexto, existe un conjunto de aplicaciones que previamente identificaron el problema de la desorientación y la detección de caídas. Este es el caso de [25], donde se desarrolló una aplicación Android para

[1] software que se basta a sí mismo para cumplir su función, sin depender de otros componentes externos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



smartphone con el fin de monitorear a adultos mayores cuando salen de áreas de geofencing. En este caso, al detectarse dicho evento, se envía una alerta a los cuidadores o familiares para que puedan ubicar al individuo mediante geolocalización. La aplicación se comunica con una base de datos y servicios en la nube para administrar la información, y utiliza web services para realizar el rastreo de las personas. Asimismo, emplea GPS y RFID para la detección de geofencing.

Por otro lado, en [26] se utilizó el smartwatch Amazfit Bip con GPS para realizar la geolocalización, junto con un cliente desarrollado en un smartphone que funciona como gateway y actúa como intermediario entre el reloj y un servidor en la nube. Este servidor envía notificaciones a los cuidadores cuando la persona sale o permanece un tiempo dentro de un área circular definida por geofencing.

En cambio, en [27] se creó una aplicación para dispositivos Android que, utilizando los sensores del móvil (acelerómetro, giroscopio y sensor magnético), detecta caídas, además de incorporar geolocalización mediante GPS. Finalmente, en[28] se realizó un mapeo sistemático en el que se analizaron los diferentes mecanismos que utilizan las aplicaciones para smartphone en la detección de caídas. Se mencionan enfoques basados en umbrales o en Machine Learning, destacando que la mayoría requieren que el smartphone se lleve en el bolsillo del pantalón o en el cinturón para una detección eficiente. En la mayoría de los casos se utilizó únicamente el acelerómetro, aunque también se empleó el giroscopio y, en algunos estudios, se complementó con el sensor de luz y el micrófono.

Algo que se observa en la mayoría de los trabajos analizados es que utilizan smartwatches con sistemas cerrados, ya que las empresas no ofrecen un SDK para desarrollar aplicaciones en ellos. Esto contrasta con el presente trabajo, en el que se desarrolló una aplicación que puede funcionar en smartwatches compatibles con el sistema operativo Wear OS.

Finalmente, se pueden encontrar trabajos que utilizan la misma tecnología, principalmente para la confirmación de asistencia mediante geofencing. En [29] se desarrolló una aplicación que emplea geofencing para controlar la asistencia al trabajo de residentes médicos, registrando la hora de entrada y salida de un área determinada. Luego, en [30], se utiliza geofencing para llevar a cabo el registro de asistencia de estudiantes en un entorno educativo.

Por otro lado, existen varias aplicaciones en la Play Store de Android diseñadas exclusivamente para registrar la entrada y salida de empleados. Entre ellas se pueden mencionar Geofencing Track [31] y GeoWork Attendance [32]. En este sentido, las aplicaciones y estudios encontrados para la confirmación de asistencia mediante geofencing se enfocan únicamente en ámbitos laborales, educativos u otros sectores generales. Por lo tanto, no están orientados específicamente a emitir alertas de asistencia a citas para adultos mayores, por ejemplo, para determinar si una persona acudió o no a una cita médica en una fecha determinada

Por otro lado, también se analizaron aplicaciones disponibles en la Play Store que implementan exclusivamente técnicas de geofencing. Entre ellas se evaluaron Life360 [33], Safe365 [34], iSharing [35], Geozilla [36] y EgiGeoZone Geofence[37]. Estas aplicaciones presentan características básicas de detección de geofencing, siendo bastante elementales, ya que por lo general solo registran la entrada o salida de un área determinada. Además, ofrecen una versión gratuita limitada que puede ampliarse mediante una suscripción mensual. Esto se debe a que, en la mayoría de los casos, la detección por geofencing no se realiza en el dispositivo, sino en un servidor externo.

En contrapartida, existen smartwatches comerciales para adultos mayores que incluyen diversas funcionalidades, entre ellas el uso de áreas de geofencing. Actualmente, en el mercado se encuentran modelos como SeniorDomo ,[38] Reachfar V36 [39], Karenwatch [40], Seculife [41] y Location Safety Watch [42]. Estos relojes, por lo general, detectan caídas, cuentan con conectividad 4G o 2G para realizar llamadas telefónicas y enviar datos a la nube, y algunos incorporan sensor de pulso y GPS. Sin embargo, utilizan geofencing de forma básica, ya que solo registran cuando el usuario ingresa o sale de un área determinada.

Estos dispositivos presentan una limitación importante: al contar con conectividad directa a la nube y no utilizar un smartphone como intermediario, el procesamiento de geofencing suele realizarse en un servidor externo. Esto se debe a que, si se ejecutara en el propio reloj, se consumirían demasiados recursos energéticos, lo que agotaría rápidamente la batería. Por esta razón, muchos de estos relojes comerciales ofrecen un servicio mensual con costo fijo para su funcionamiento.

Se identificaron varios aspectos no contemplados en los trabajos analizados. En primer lugar, los relojes comerciales para adultos mayores son entornos cerrados, por lo que no es posible modificarlos ni desarrollar aplicaciones personalizadas para este grupo de usuarios. En segundo lugar, no se encontró trabajos, en los últimos años, que utilice un smartwatch con sistema Wear OS para adultos mayores. Asimismo, tampoco se halló un desarrollo que, en un mismo sistema, combine detección de áreas de geofencing simples, identificación de zonas seguras y alertas por inasistencia a citas utilizando geofencing.

Por este motivo, en la presente investigación se desarrolló un prototipo de sistema que busca cumplir con estas características. A continuación, se describe cómo se desarrolló cada una de las partes que componen el sistema y sus funcionalidades.

## 3. Desarrollo

### 3.1 Diseño del Sistema

El sistema fue diseñado para que la aplicación trate de ser standalone. En otras palabras, que no posea conectividad con servidores externos, a excepción del uso de los servicios de Google Maps para la visualización de mapas. De este modo, todo el procesamiento de las áreas de geofencing se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



realiza de forma local en el dispositivo, evitando el uso de servidores externos que podrían implicar costos mensuales de mantenimiento.

Por otra parte, el sistema fue concebido para funcionar con un smartwatch con sistema operativo Wear OS, lo que permite desarrollar aplicaciones propias para el dispositivo. En este sentido, se optó por diseñarlo para este tipo de relojes que no cuenten con conectividad 4G ni GSM, ya que existen modelos que no disponen de estas funciones. Para las pruebas reales se utilizó un Samsung Galaxy Watch 5, que cumple con estas características, y para pruebas genéricas se empleó el simulador de smartwatch de Android Studio.

En consecuencia, fue necesario establecer la comunicación entre el reloj y un smartphone para realizar el envío de SMS a los contactos del adulto mayor con el fin de alertarlos y notificarles. Al mismo tiempo, debido a la capacidad limitada de los smartwatches, el procesamiento de las áreas de geofencing se realizó en el smartphone, ya que este cuenta con mayor capacidad de cálculo y de batería. Asimismo, se determinó que ciertas funcionalidades se ejecuten en el smartphone, ya que algunas resultan incómodas de visualizar en el reloj debido al tamaño reducido de su pantalla; por ejemplo, la visualización de un mapa. Por este motivo, estas funcionalidades específicas se llevan a cabo en el teléfono.

Por todo lo anterior, el sistema se dividió en dos componentes: una aplicación para smartphone y otra para smartwatch. La primera fue desarrollada para versiones de Android superiores a la 12, mientras que la segunda se diseñó para Wear OS versión 5.

En este sentido, cada componente permite realizar distintas funcionalidades. En el caso del smartphone, dependiendo del rol del usuario, se pueden ejecutar las siguientes acciones:

- Configurar áreas de geofence básicas.
- Establecer prioridad de las áreas
- Configurar Zonas seguras
- Configurar citas de asistencias
- Establecer contacto de notificación
- Visualizar zonas de geofence
- Mostrar notificaciones push de alertas
- Enviar SMS
- Configurar horas de activación de alarmas

En cambio, la aplicación del smartwatch se utiliza para mostrar notificaciones personalizadas al adulto mayor y para detectar caídas mediante sus componentes de hardware, aprovechando los servicios que ofrece el framework de Android.

Es importante mencionar que la aplicación del smartphone puede funcionar de manera independiente del smartwatch, siendo necesario que el adulto mayor lleve siempre consigo el teléfono móvil. No obstante, si no se utiliza junto al reloj, no será posible realizar la detección de caídas ni generar notificaciones de alta prioridad, ya que estas funciones son ejecutadas exclusivamente por el smartwatch.

### 3.2 Aplicación del Smartphone

#### 3.2.1 Tipos de usuarios

Al ser una aplicación Standalone, se desarrolló el programa del smartphone para que pueda ser utilizada por dos tipos de roles de usuarios diferentes.

- **El Administrador**: es la persona responsable del adulto mayor. Por ejemplo, un familiar o cuidador. Este usuario tiene permisos para crear y eliminar cualquier tipo de área de geofence del sistema, configurar citas de asistencia, definir los contactos para enviar SMS y configurar las horas de activación de las alarmas.
- **Adulto Mayor**: En la aplicación del teléfono móvil, este usuario únicamente puede visualizar las áreas de geofencing existentes, las fechas de las citas de asistencia y el listado de contactos, además de recibir y consultar las notificaciones push de alertas

#### 3.2.2 Menú Principal

Cuando se abre por primera vez la aplicación del smartphone, el usuario inicia por defecto con el rol de adulto mayor. En consecuencia, al mostrarse la pantalla inicial de la app, el menú principal no incluirá todas las opciones disponibles. Esto se debe a que este tipo de usuario se considera restringido, permitiéndole únicamente visualizar el sistema sin realizar modificaciones.




**Fig. 1 Menú Principal para Adulto Mayor**




**Fig. 2 Menú Principal para Administrador**

En la Fig. 1 se muestra el menú principal con las opciones disponibles para este rol. Como se observa en la imagen, en la barra superior de la aplicación (ToolBar) hay

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



una opción que permite ingresar como usuario administrador. Al seleccionarla, el sistema mostrará una pantalla de inicio de sesión (login) en la que se solicitarán el nombre de usuario y la contraseña. Una vez validados los datos, se habilitarán las opciones correspondientes al usuario administrador, tal como se muestra en la Fig. 2. Como se aprecia en la imagen, el menú para el administrador posee una mayor cantidad de opciones, ya que este rol puede configurar las distintas funcionalidades del sistema, tal como se mencionó previamente.

### 3.2.3 Definir Áreas de Geofence

El administrador puede establecer diferentes áreas de geofencing. Para ello, debe ingresar en la opción "*Definir Áreas de Geofence*", tras lo cual el sistema mostrará un mapa de Google Maps con las áreas de geofencing creadas. Estas zonas se visualizan en diferentes colores según su tipo, tal como se aprecia en la Fig. 3.




**Fig. 3 Mapa de Áreas de Geofences**

Desde este mapa se pueden crear dos tipos de zonas de geofencing: *"áreas normales"*, indicadas en el mapa con círculos de color azul, y "*zonas seguras*", señaladas en color verde. Para crear cualquiera de estas áreas, el administrador debe pulsar sobre la ubicación deseada en el mapa; posteriormente, el sistema abrirá la pantalla de creación de áreas, tal como se muestra en la Fig. 4.

Desde esta interfaz gráfica, el usuario administrador puede configurar el comportamiento de las zonas que desea crear, estableciendo sus propiedades. En primer lugar, a través del cuadro de lista de eventos, puede determinar qué acción debe realizar el adulto mayor para que la zona de geofencing se active y sea detectada por el sistema. Para ello, es posible seleccionar uno o varios de los siguientes eventos

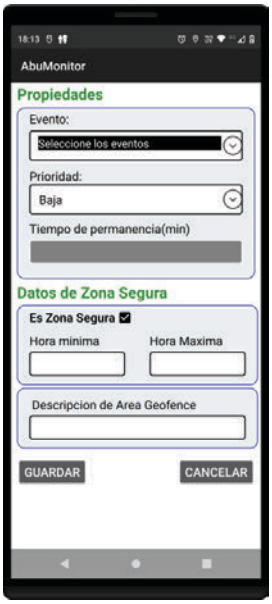



**Fig. 4 Pantalla de creación de áreas de geofence**

- **Entrar**: Se activa cuando el adulto mayor ingresa a la zona de geofence
- **Salir**: Se activa cuando el usuario sale de la zona de geofence
- **Permanecer**: Se activa cuando ingresa a un área y luego se mantiene en ella un tiempo determinado. El tiempo de permanecía lo debe indicar el administrador a través del campo de texto denominado *"Tiempo de permanencia"*, que se muestra en la figura anterior.

Es importante mencionar que la selección de estas opciones solo está disponible para la creación de "*áreas normales de geofence"*. En cambio, si el usuario marca la casilla de verificación denominada *"zona segura"*, el sistema configurará automáticamente el área para detectar eventos de entrada y salida. En cualquier tipo de zona creada, el administrador deberá indicar un mensaje descriptivo para identificar el contexto de la región cuando se detecta el evento de activación de la misma. Con lo cual esto lo deberá realizar en el campo de texto denominado *"descripción de área de geofence"*.

### 3.2.4 Configuración de la Zonas Seguras

Una "zona segura" de geofence es aquella en la que el adulto mayor debe encontrarse dentro de un rango horario específico; si sale fuera de ese horario, se considera que ha salido en un momento anormal. Un ejemplo típico es cuando se sabe que el adulto permanece en su hogar todos los días desde las 22:00 hasta las 08:00, ya que ese es, por lo general, el horario en el que las personas duermen en casa. Por lo tanto, si el usuario sale de su hogar fuera de ese intervalo, se considera una salida en horario anormal y se envía una alerta a sus contactos vía SMS.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Asimismo, si el usuario ingresa a una zona segura y permanece en ella muy pocos minutos, por ejemplo menos de tres, esta situación se interpreta como una salida inesperada, notificándose también a sus contactos mediante SMS. Un caso de este tipo podría ser cuando el adulto mayor ingresa a su hogar y, de inmediato, debe salir rápidamente debido a una emergencia.

El rango horario de una zona segura debe ser establecido por el administrador al momento de crearla, indicando los valores correspondientes en los campos de texto que se muestran en la Fig. 4.

### 3.2.5 Prioridad de las áreas de Geofencing

Al crear un *"área normal de geofencing"*, el administrador puede elegir la prioridad con la que se notificará a los contactos y al mismo adulto mayor. En este sentido, se determinó conveniente establecer los siguientes rangos de prioridades.

- **Baja:** Se notificará solamente vía SMS a los contactos responsables del adulto.
- **Media:** Además de notificar vía SMS los contactos, se generará una notificación push en el smartphone que llevará el adulto mayor.
- **Alta:** En este caso se generarán tres tipos de notificaciones. Por un lado, se enviará un SMS a los contactos y se generará una notificación push en el smartphone del adulto mayor y, además, una notificación personalizada en su smartwatch.

La clasificación de los niveles se realizó teniendo en cuenta la gravedad del evento ocurrido. La prioridad más baja corresponde a situaciones en las que el adulto mayor no necesita enterarse del suceso. La prioridad media implica que debe conocerlo, pero no es necesario que lo haga de inmediato. En cambio, la prioridad alta se asigna a eventos en los que es importante que el adulto mayor sea notificado en ese mismo instante. Por este motivo, en este último caso, cuando se activa el evento, la notificación se envía tanto al smartphone como al smartwatch del usuario.

Es importante mencionar que el acceso a las zonas seguras, es considerado por defecto con un área de baja prioridad. Por lo que de esta manera, solamente se notificará a los contactos registrados vía SMS.

### 3.2.6 Ver Zonas de Geofence

En el modo de usuario "*Adulto Mayor*", el adulto tendrá la opción de visualizar en un mapa las áreas de geofencing creadas por el administrador, así como consultar sus propiedades si así lo desea. No obstante, no podrá modificarlas, únicamente visualizarlas. Para ello, deberá seleccionar la opción "*Ver Áreas Geofence*" en el menú principal, Fig. 1. Al abrirse el mapa, este mostrará automáticamente la ubicación actual del dispositivo y actualizará la interfaz gráfica cada minuto, de modo que siempre se centre en ella. Esto se implementó para que el adulto mayor pueda identificar rápidamente las áreas de geofence que tiene alrededor.

### 3.2.7 Definir Citas de Asistencia

Otra funcionalidad especial del sistema desarrollado consiste en definir una fecha y hora en la que el adulto mayor debe encontrarse en una ubicación geográfica específica. En caso de que no acuda a ese lugar en el momento establecido, se notificará a los contactos registrados mediante SMS, considerándose este tipo de alertas como de prioridad baja.

Esta función resulta muy útil, por ejemplo, para programar citas médicas y verificar si el adulto asiste a ellas; comprobar si realizó un trámite en una fecha específica; confirmar si fue a buscar a sus nietos al colegio; o verificar si asiste regularmente al gimnasio para cumplir con su rutina de actividades, entre otros casos.

Para establecer las fechas en el sistema, el administrador debe seleccionar la opción "*Definir citas de asistencia*" en el menú principal, Fig. 2. Una vez hecho esto, el sistema mostrará un calendario para que pueda elegir la fecha deseada para crear la cita, como se observa en la Fig. 5. En esta interfaz, la fecha actual se resalta con un círculo de color verde, mientras que el día seleccionado para agregar una cita se indica con un círculo violeta. En la imagen, los días 12 y 14 aparecen en color rojo, lo que significa que en esas fechas ya existe al menos una cita registrada. En el ejemplo mostrado, el día 12 está seleccionado, por lo que en la parte inferior de la pantalla se presenta un resumen de las citas programadas para esa fecha, indicando la descripción y el horario en que debe realizarse la asistencia.




**Fig. 5 Calendario Definir Citas de Asistencia**

Para registrar una nueva cita el administrador deberá seleccionar el botón *"agregar evento"* en la fecha deseada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Posteriormente el sistema mostrará la pantalla para ingresar las propiedades pertinentes a la cita. Esta interfaz se muestra en la Fig. 6. En donde se podrá establecer la hora, descripción y localización de la cita. La ubicación de la misma se deberá indicar a través de un mapa, indicando en el radio de la cobertura del área de geofence asociada a la cita.




**Fig. 6 Propiedades de la Cita de Asistencia**

El mapa de selección de la localización de la cita, es similar al mostrado en la Fig. 3, con la salvedad de que en este caso el círculo de geofence será representado de color amarillo.

### 3.2.8 Ver Citas de Asistencia

En el modo de usuario "Adulto Mayor", la persona puede visualizar las citas de asistencias que fueron registradas por el administrador seleccionando la opción "*Ver Citas de Asistencias*" del menú principal, Fig. 1. Al elegir esta opción el sistema mostrará las citas de asistencias en el calendario, junto sus propiedades, tales como la fecha, hora, descripción y localización en un mapa. No obstante, no podrá modificarla ni eliminarla, ya que solamente podrá observarlas.

### 3.2.9 Algoritmo de Asistencia

Cada vez que el adulto mayor ingresa a un área de geofence, el sistema comprueba si esta corresponde a una cita registrada. En caso afirmativo, se almacena en la base de datos la hora de ingreso a la zona. Posteriormente, cuando el adulto sale de la misma, se comparan las horas de entrada y salida; por lo que si permaneció en la zona más de un minuto, se considerará que asistió a la cita asociada a esa área de geofence, lo cual también se registra en la base de datos.

Por otra parte, es importante mencionar, que al iniciar el sistema se establece un temporizador que se ejecuta repetitivamente en un intervalo de tiempo determinado, el cual puede ser configurado por el administrador desde la pantalla de configuración que se muestra en la Fig. 7. Por defecto, el temporizador se ejecuta cada una hora.

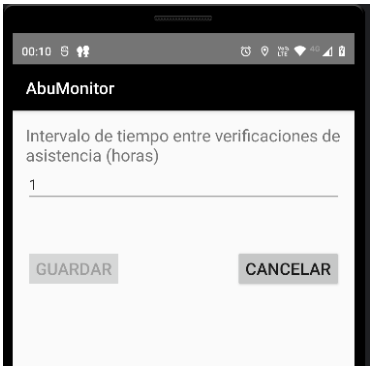



**Fig. 7 Pantalla de configuración del sistema**

Este intervalo de tiempo sirve para ejecutar dos acciones cuando se cumple el temporizador

a) Activar las zonas de geofencing de citas de asistencia
b) Verificar la asistencia del adulto mayor a las citas

**a) Activación de zonas de citas**

En cada disparo del temporizador, el sistema consulta la base de datos para detectar geocercas asociadas a citas que deban cumplirse en las próximas horas. De encontrarlas, activa las áreas correspondientes. Por ejemplo, si el temporizador tiene un intervalo de 1 hora, al ejecutarse a las 09:00 activará todas las áreas de geofencing de citas registradas para las 10:00 hrs. Luego, al siguiente disparo (11:00 hrs), desactivará las zonas de las citas que fueron asociadas a las 10:00 hrs. Esta estrategia pretende optimizar el consumo de batería ya que solo mantiene activas las áreas durante el período cercano a la cita, evitando sostener todas las áreas de geofencing del calendario en forma permanente.

**b) Verificación de asistencia a las citas**

En cada ejecución del temporizador, el sistema verifica si existen citas a las que la persona debería haber asistido dentro del intervalo configurado y, en caso de inasistencia, notifica al contacto designado mediante SMS. Siguiendo el ejemplo anterior, si la cita médica era a las 10:00 y la persona no asistió, al ejecutarse el temporizador a las 11:00, se constatará la inasistencia y se enviará un SMS al contacto del adulto mayor, notificando el incumplimiento de la cita. La Fig. 8 ilustra el mensaje de texto de notificación por inasistencia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



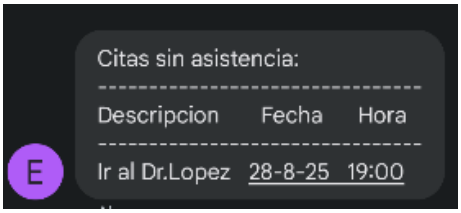



**Fig. 8 Citas sin asistencia**

#### 3.2.10 Notificaciones de prioridad Baja y Media

Como se mencionó previamente, se estableció un rango de prioridades para alertar a los contactos y al adulto mayor sobre la ocurrencia de un evento. En el caso de prioridad baja, la notificación se envía únicamente a los contactos registrados en la base de datos del sistema mediante un SMS que informa sobre el suceso.

En las siguientes figuras se muestran ejemplos de este tipo de notificación: en la Fig. 9, una alerta por ingreso a una zona de geofence normal, y en la Fig. 10, una alerta por salida de una zona segura fuera de su horario habitual

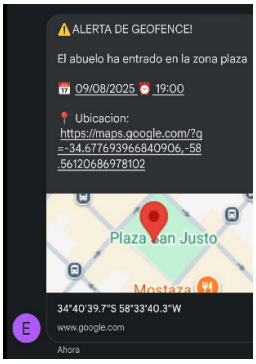



**Fig. 9 SMS de Alerta de Zona Normal**

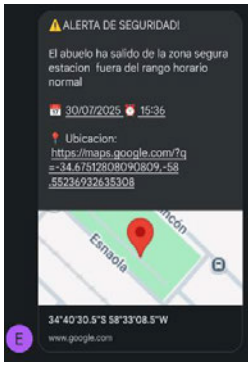



**Fig. 10 SMS de Alerta de Zona Segura**

Por otro lado, las notificaciones de prioridad Media, además de enviar un SMS, muestran una notificación push en la bandeja del sistema operativo del smartphone que usa el adulto. En la figura siguiente se muestra un aviso de este tipo.

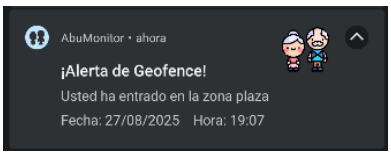



**Fig. 11 Notificación push de prioridad media**

Posteriormente, en el apartado siguiente, se mostrará como se ve la notificación de prioridad alta en el smartwatch.

### 3.3 Aplicación del Smartwatch

#### 3.3.1 Funcionamiento del programa del reloj

A diferencia de la aplicación del smartphone, que puede ser utilizada tanto por el administrador como por el adulto mayor, la aplicación desarrollada para el smartwatch está diseñada exclusivamente para este último. Esto se debe a que el adulto mayor es quien llevará el reloj en su muñeca y, además, la aplicación no presenta opciones de configuración como sí lo hace la del teléfono.

Con el fin de que las interfaces gráficas del reloj fueran sencillas de manejar para el adulto mayor, se desarrolló un sistema propio de notificaciones personalizadas. Esta decisión se tomó porque las notificaciones que muestra el sistema operativo Wear OS en su stream de notificaciones incluyen demasiadas opciones visuales, lo que puede llegar a confundir al usuario, además de resultar complicadas de utilizar. En ese mismo espacio se agrupan notificaciones de otras aplicaciones instaladas tanto en el smartphone como en el smartwatch. Un ejemplo de ello son los mensajes recibidos en WhatsApp o Telegram que se muestran en el stream de Wear OS. Este aspecto fue descrito y explicado en un trabajo propio presentado en el WICC 2025 [43]. Por este motivo, se creó un sistema que facilite la visualización de las notificaciones de alta prioridad emitidas por la aplicación del smartphone, de manera que sean fácilmente visibles y manejables por el adulto mayor. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de notificación presentada en la aplicación desarrollada para el smartwatch

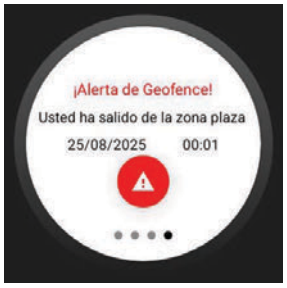



**Fig. 12 Notificación personalizada mostrada en el Smartwatch**

Como se puede observar en la imagen, las notificaciones se organizan en páginas y siempre se muestra la más reciente. Si el usuario desea revisar mensajes anteriores, deberá deslizar la pantalla lateralmente. Otro detalle a destacar es que, si el adulto mayor quiere cerrar la notificación desde el reloj, deberá presionar sobre la imagen circular de color rojo con el ícono de alerta. Al realizar esta acción, también se cerrará la notificación correspondiente en el smartphone.

Un desafío que surgió durante el desarrollo de la aplicación para el reloj es que, por defecto, Wear OS restringe la apertura automática de aplicaciones cuando el dispositivo está bloqueado y con la pantalla apagada. Esto provocaba que, al recibir una notificación personalizada de geofencing enviada desde el smartphone, el reloj no encendiera la pantalla ni abriera la notificación de forma

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



automática. Para resolverlo, fue necesario implementar una configuración especial en el software creado, de manera que la función se ejecutara correctamente.

En la actualidad, muchos smartwatches que funcionan con Wear OS utilizan sus sensores integrados (como acelerómetro, giroscopio, entre otros) junto con un algoritmo interno en su firmware para detectar caídas. Cuando ocurre este tipo de evento, el dispositivo notifica al usuario y le solicita confirmar su estado físico mediante una aplicación propietaria y cerrada, la cual no puede modificarse ni personalizarse.

Con el fin de superar esta limitación, se implementó un conjunto de módulos específicos en la aplicación propia desarrollada, la cual captura el evento generado por el sistema operativo y el firmware del smartwatch y genera una notificación personalizada en el smartwatch. De tal manera, que esta se pueda individualizar y ampliar. Esta particularidad se logra escuchando un servicio interno de eventos de salud, de manera que, mediante el uso del elemento llamado *PassiveListenerService*, provisto por el Framwework de Android Studio, el software recibe la notificación cuando se detecta una caída.

De esta forma, fue posible personalizar el comportamiento y la notificación de la detección de caídas, tanto en el smartwatch como en el smartphone, adaptando la respuesta a las necesidades del proyecto.

En consecuencia, automáticamente cuando el programa desarrollado detecta una caída, instantáneamente muestra una pantalla de emergencia y consulta al adulto mayor si necesita ayuda. La forma de la interfaz se puede visualizar en la siguiente imagen.

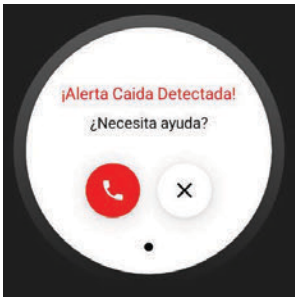



**Fig. 13 Pantalla de emergencia de caída y consulta de estado**

Como se puede observar en la figura anterior, la pantalla de emergencia es similar al formato de las notificaciones mostradas en la Fig. 12. El diseño se hizo de esta manera para que el adulto mayor este familiarizado con el formato de las notificaciones.

Al mismo tiempo que se muestra la pantalla de emergencia, se empieza a reproducir el sonido de una sirena de ambulancia en el reloj. De manera tal, que la persona mayor se percate de dicha situación. Automáticamente al detectar la caída del adulto, la aplicación del reloj se comunica con la app del smartphone para enviar un SMS a los contactos alertando del evento para ayudar rápidamente al adulto. Este mensaje de texto se puede visualizar en la Fig. 14.

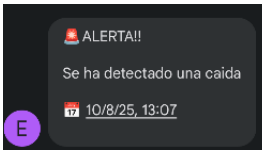



**Fig. 14 SMS de alertando que el adulto mayor se cayó**

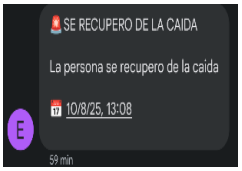



**Fig. 15 SMS alertando que el adulto mayor se recuperó de la caída**

En la Fig. 13, se puede visualizar que existen dos botones, uno rojo, con el símbolo de un teléfono, y otro blanco, con el símbolo de una X. El primero sirve para que adulto, solicite ayuda a los contactos que se encuentran registrados en el sistema. Con lo cual, al presionarlo, se enviará un SMS solicitando ayuda urgente. Por otro lado, el segundo botón sirve para que el adulto cancele la emergencia, por lo que al presionarlo se les enviará un SMS a los contactos indicándoles que el individuo se encuentra recuperado de la caída. Esto se puede visualizar en la figura Fig. 15.

Si el adulto mayor no presiona el botón para cancelar la emergencia, el sistema enviará cada 1 minuto un SMS al contacto registrado, notificándole que la persona continúa caída Fig. 16. Esta acción se repetirá hasta tres veces, a menos que el adulto mayor cancele la emergencia.

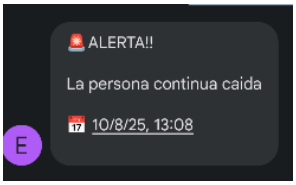



**Fig. 16 SMS de alertando que el adulto mayor sigue caído**

### 3.4 Alcance del trabajo

El desarrollo de la aplicación del smartwatch para la detección y notificación de caídas se realizó únicamente en un ambiente emulado. Esto significa que no se efectuaron pruebas con caídas físicas reales. No obstante, el mecanismo implementado está diseñado para funcionar en cualquier smartwatch físico que utilice Wear OS y cuenten con firmware de detección de caídas, siempre que dicho firmware exponga los eventos correspondientes al sistema Health Service.

En este contexto, las pruebas se llevaron a cabo utilizando el emulador QEMU [44] para dispositivos smartwatch incluido en el entorno de Android Studio. Al emplear un emulador, la computadora imitará el comportamiento del funcionamiento del reloj físico, ya que este reproduce el hardware real del dispositivo, incluyendo CPU, memoria, sensores, etc. a nivel bajo, permitiendo ejecutar el mismo sistema operativo Wear OS que tendría un smartwatch físico. Esto es posible porque QEMU traduce las instrucciones para que la PC pueda ejecutar ese hardware virtual.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por consiguiente, para realizar las pruebas de caídas emuladas en QEMU y verificar su funcionamiento, se deben ejecutar los siguientes comandos desde la consola del símbolo del sistema de Windows. En primer lugar, es necesario activar, mediante el programa ADB, el uso de datos sintéticos. Para ello, se debe utilizar la sentencia que se muestra en la Fig. 17.

```
adb -s emulator-5554 shell am broadcast -a "whs.USE_SYNTHETIC_PROVIDERS" com.google.android.wearable.healthservices
```

**Fig. 17 Comandos ADB para activar el uso de datos sintéticos**

Una vez habilitado, se debe simular la caída utilizando la siguiente sentencia también usando ADB. Tal como se muestra en la Fig. 18.

```
adb -s emulator-5554 shell am broadcast -a "whs.FALL_OVER" com.google.android.wearable.healthservices
```

**Fig. 18 Comando ADB para simular una caída**

Luego de ejecutar este comando, el sistema operativo, junto con el firmware que se ejecuta en el smartwatch emulado en QEMU, detectará la caída. Posteriormente, se activará el servicio interno de salud, que, a través de la clase PassiveListenerService, permitirá que el módulo desarrollado en la aplicación propia desencadene la secuencia de notificaciones personalizadas de caída explicadas anteriormente Fig. 13.

## 4 Conclusiones

En este trabajo se presentó el desarrollo de un sistema parcialmente standalone que permite el monitoreo de adultos mayores utilizando técnicas de geofencing de diferentes maneras. El sistema está conformado por un smartphone y un smartwatch que utilizan el sistema operativo Android y Wear OS. Entre las funcionalidades que ofrece se encuentran la generación de áreas de geofencing normales que reaccionan a distintos eventos del adulto mayor, con diferentes niveles de prioridad en la notificación. Según la prioridad asignada, se alerta tanto al contacto del adulto mayor como al propio usuario, ya sea mediante notificaciones push en el smartphone o a través de notificaciones personalizadas en el smartwatch.

Asimismo, se pueden generar zonas seguras que, dependiendo del horario en que se encuentre el adulto mayor en dichas áreas, alertarán a los contactos registrados.

Otra funcionalidad relevante es el registro de citas de asistencia en determinada fecha y horario, asociadas a áreas de geofence. Si al finalizar el día el adulto no asistió a las citas programadas, el sistema notificará a los contactos su inasistencia. Esto resulta útil para verificar asistencia a citas médicas, actividades físicas o compromisos cotidianos.

Por otro lado, la aplicación para smartwatch fue diseñada para mostrar notificaciones personalizadas de forma sencilla, tratando de ser de agradable uso para los adultos mayores.

Además, se implementaron módulos para la detección de caídas utilizando los mecanismos provistos por el sistema operativo Wear OS, integrados con el sistema de notificaciones personalizadas. Es importante señalar que la detección de caídas se validó mediante simulaciones controladas con ADB en un entorno emulado, sin pruebas físicas reales. Esta decisión respondió al objetivo principal del trabajo: diseñar y validar la integración del evento de caída con un sistema de notificaciones adaptado a este público, dejando como posible trabajo futuro la validación en campo.

Otra limitación detectada es la autonomía del smartphone y smartwatch, que en las pruebas alcanzó aproximadamente más de medio día de funcionamiento debido al uso intensivo de GPS y geofencing local.

Si bien no se desarrolló un algoritmo propio de detección de caídas, en este trabajo la detección se limitó a utilizar los servicios que provee el sistema operativo Wear OS junto al firmware del hardware del smartwatch. El alcance de este trabajo fue implementar un mecanismo que permita, en caso de requerirse, integrar en el futuro algoritmos personalizados de detección independientes, con respecto a los que vienen por defecto en los dispositivos.

Estas limitaciones no comprometen la validez del prototipo presentado, pero establecen un marco claro de alcance y abren la posibilidad de mejoras en desarrollos posteriores.

## 5 Trabajos Futuros

Una posible línea de mejora sería desarrollar un algoritmo de confirmación de caídas basado en comparación de umbrales o utilizando técnicas de Machine Learning, que trabaje en conjunto el sistema desarrollado, con el objetivo de minimizar falsos positivos y falsos negativos que puedan generarse al depender únicamente del servicio nativo. Además se podría generar una revalidación del sistema en escenarios reales con usuarios finales, lo que permitirá evaluar tanto la precisión del mecanismo como su aceptación práctica.

Otra mejora consistiría en optimizar el consumo de energía del smartphone mediante estrategias como la reducción de la frecuencia de actualización de geofences, uso combinado de GPS, Wi-Fi y Bluetooth, y procesamiento. También sería relevante realizar pruebas de campo con usuarios reales, tanto en entornos controlados como en situaciones cotidianas, para evaluar la precisión del geofencing, la efectividad de las notificaciones personalizadas y la aceptación del sistema por parte de adultos mayores y cuidadores.

Adicionalmente, también se podría incorporar un módulo de recordatorios de "*citas de asistencia*", para que notifique al usuario con una antelación de unas horas respecto del horario programado. De este modo, la persona

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mayor recibiría un aviso previo suficiente para organizar su traslado y concurrir puntualmente a la cita.

Otra posible mejora podría ser que se permitan agregar citas recurrentes. Por ejemplo, cuando el adulto mayor debe asistir todos los lunes a las 19:00 horas a su sesión con el kinesiólogo. De esta manera, el sistema podría rea|lizar un monitoreo más preciso y continuo de la asistencia del individuo.

## Referencias

[1] López-Otín, C., M. A. Blasco, L. Partridge, M. Serrano, y G. Kroemer, "The hallmarks of aging", el 6 de junio de 2013, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.cell.2013.05.039.

[2] Gonzales, M. M. *et al.*, "Biological aging processes underlying cognitive decline and neurodegenerative disease", el 16 de mayo de 2022, *American Society for Clinical Investigation*. doi: 10.1172/JCI158453.

[3] TimesOfIndia, "Is chronic inflammation really linked with age? A new study challenges the idea of inflammaging | - Times of India". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://timesofindia.indiatimes.com/life-style/health-fitness/health-news/is-chronic-inflammation-really-linked-with-age-a-new-study-challenges-the-idea-of-inflammaging/articleshow/122854916.cms

[4] europaem, "The ageing brain: how to maintain cognitive functions into old age", europaem.eu/en/the-ageing-brain-how-to-maintain-cognitive-functions-into-old-age/.

[5] OMS, *Informe Mundial sobre el envejecimiento y la salud*. Estados Unidos: OMS, 2015.

[6] Serrano, J. A., "El papel de la familia en el envejecimiento activo", abr. 2013.

[7] Ardila Duran, L., J. Orejarena, y L. Silva Gonzalez, "RELACIÓN DEL NIVEL DE DEPENDENCIA Y", 2018.

[8] Statler, S., "Geofencing: Everything You Need to Know", en *Beacon Technologies*, Apress, 2016, pp. 307–316. doi: 10.1007/978-1-4842-1889-1_17.

[9] Uber, "Transportation Planning & Rideshare Consulting by Uber". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.uber.com/no/nb/mobilityv3mobile/

[10] Brian Hughes, "Trying to Boost Retail Sales? Here's How Geofencing Can Help. | Entrepreneur". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.entrepreneur.com/growing-a-business/trying-to-boost-retail-sales-heres-how-geofencing-can/452122

[11] D´Souza Joseph, "Smartwatches Statistics By Brands, Adoption and Facts (2025)". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://coolest-gadgets.com/smartwatches-statistics/

[12] Telam, "Argentina: Más de la mitad de las personas mayores de 75 años utilizan nuevas tecnologías - Red Latinoamericana de Gerontología". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.gerontologia.org/portal/information/showInformation.php?idinfo=4833

[13] Gomez-Hernandez, M., X. Ferre, C. Moral, y E. Villalba-Mora, "Design Guidelines of Mobile Apps for Older Adults: Systematic Review and Thematic Analysis", *JMIR Mhealth Uhealth*, vol. 11, p. e43186, sep. 2023, doi: 10.2196/43186.

[14] While, Z., T. Blascheck, Y. Gong, P. Isenberg, y A. Sarvghad, "Glanceable Data Visualizations for Older Adults: Establishing Thresholds and Examining Disparities Between Age Groups", en *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Association for Computing Machinery, may 2024. doi: 10.1145/3613904.3642776.

[15] Brognara, L., "Gait Assessment Using Smartphone Applications in Older Adults: A Scoping Review", el 1 de agosto de 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/geriatrics9040095.

[16] Elicabe, E., M. Cuberli, P. Rodriguez, y Schwarz Patricia, *eHealth en contexto: marco normativo y políticas públicas*. Teseo, 2020. doi: 10.55778/ts877232615.

[17] Wang, Q. *et al.*, "Usability evaluation of mHealth apps for elderly individuals: a scoping review", *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 22, núm. 1, dic. 2022, doi: 10.1186/s12911-022-02064-5.

[18] Li, J., R. C. Me, F. A. Ahmad, y Q. Zhu, "Investigating the application of IoT mobile app and healthcare services for diabetic elderly: A systematic review", *PLoS One*, vol. 20, núm. 4, p. e0321090, abr. 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0321090.

[19] Lv, Z., F. Xia, G. Wu, L. Yao, y Z. Chen, "iCare: A Mobile Health Monitoring System for the Elderly", en *2010 IEEE/ACM Int'l Conference on Green Computing and Communications & Int'l Conference on Cyber, Physical and Social Computing*, IEEE, dic. 2010, pp. 699–705. doi: 10.1109/GreenCom-CPSCom.2010.84.

[20] Kim, H. J., H. Kim, J. Park, B. Oh, y S. C. Kim, "Recognition of Gait Patterns in Older Adults Using Wearable Smartwatch Devices: Observational Study", *J Med Internet Res*, vol. 24, núm. 8, ago. 2022, doi: 10.2196/39190.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[21] Rafl, J., T. E. Bachman, V. Rafl-Huttova, S. Walzel, y M. Rozanek, "Commercial smartwatch with pulse oximeter detects short-time hypoxemia as well as standard medical-grade device: Validation study", *Digit Health*, vol. 8, p. 205520762211321, ene. 2022, doi: 10.1177/20552076221132127.

[22] Chung, J., H. R. Brakey, B. Reeder, O. Myers, y G. Demiris, "Community-dwelling older adults' acceptance of smartwatches for health and location tracking", *Int J Older People Nurs*, vol. 18, núm. 1, ene. 2023, doi: 10.1111/opn.12490.

[23] Felberbaum, Y., J. Lanir, y P. L. Weiss, "Designing Mobile Health Applications to Support Walking for Older Adults", *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, núm. 4, p. 3611, feb. 2023, doi: 10.3390/ijerph20043611.

[24] Rocha, I. C. *et al.*, "Monitoring Wearable Devices for Elderly People with Dementia: A Review", *Designs (Basel)*, vol. 8, núm. 4, p. 75, jul. 2024, doi: 10.3390/designs8040075.

[25] Patil, J. y A. Chaware, "Geofencing For Elderly", 2023, pp. 191–208. doi: 10.2174/9789815196054123050014.

[26] Pham Congduc y Xuan Hiep, "Smart Objects and Technologies for Social Good", vol. 649, 2025, doi: 10.1007/978-3-032-01497-9.

[27] Kapse, A. S., S. Shoba, R. Tamuli, A. Sinha, y S. Samantara, "Android Based Fall Detection and Tracking App for Aged People", en *2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, IEEE, feb. 2022, pp. 1113–1116. doi: 10.1109/ICAIS53314.2022.9743024.

[28] Stampfler, T., M. Elgendi, R. R. Fletcher, y C. Menon, "Fall detection using accelerometer-based smartphones: Where do we go from here?", *Front Public Health*, vol. 10, oct. 2022, doi: 10.3389/fpubh.2022.996021.

[29] Owei, L., V. L. Luks, K. D. Brooks, R. R. Kelz, J. S. Berns, y C. B. Aarons, "Smart-phone Based Geofencing: A Novel Approach to Monitoring Clinical Work Hours in Surgery Residency", *J Surg Educ*, vol. 78, núm. 6, pp. e210–e217, nov. 2021, doi: 10.1016/j.jsurg.2021.06.024.

[30] Patil, Prof. H., "Tick Mark: Geofencing Attendance System", *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 13, núm. 4, pp. 1269–1274, abr. 2025, doi: 10.22214/ijraset.2025.68524.

[31] Tragging Bilgi teknolojileri, "Geofencing Track", https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tragging.geofencing&hl=es_AR.

[32] Geofence Attendance, "Geofence Attendance". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://geofenceattendance.com/

[33] Life360, "Life360 | International Location Sharing App". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://intl.life360.com/

[34] adelaweb, "Safe365, la app para la localización y el seguimiento de los mayores - adELA". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://adelaweb.org/safe365-la-app-para-la-localizacion-y-el-seguimiento-de-los-mayores/

[35] iSharingSoft, "iSharing | ¡rastrea la ubicación de un teléfono celular gratis! La mejor localizador GPS". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://isharingsoft.com/es/

[36] Gz Tech, "Geozilla GPS Localizador - Apps en Google Play". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.geozilla.family&hl=es_AR

[37] EgiGeozone, "EgiGeoZone Geofence". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.egigeozone.de/default_en.html

[38] SeniorDomo, "SeniorDomo - Reloj pulsera localizador GPS, SOS, caídas y llamadas". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.seniordomo.com/

[39] Plaspy, "Reachfar - RF-V36 - Plaspy". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.plaspy.com/Devices/Trackers/Reachfar/RF-V36?lang=es

[40] KareWatch, "What Geofencing Technology can do for Senior Living – KAREWatch MG". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://karewatch.com/blogs/news/what-geofencing-technology-can-do-for-senior-living

[41] Seculife, "SOS Smartwatch | SecuLife". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://seculife.us/seniors-gps-smartwatch/

[42] Addsecure, "Location safety watch + free calls + Geofence - AddSecure". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.addsecure.com/product/location-safety-watch-free-calls-geofence/

[43] Carnuccio, E. A., P. M. Vera, y R. A. Rodríguez, "Sistema de Alerta de Geofencing para el monitoreo de adultos mayores basados en Android y Wear OS", en *Libro de Actas - XXVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación WICC 2025*, Mendoza, 2025, pp. 502–506.

[44] Google Developers, "Cómo configurar la aceleración de hardware para Android Emulator | Android Studio | Android Developers". Consultado: el 14 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



https://developer.android.com/studio/run/emulator
-acceleration?hl=es-419

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Mapas Autoorganizados Esféricos: Un método preliminar para inicializar la teselación de una esfera en un conjunto arbitrario de polígonos de Voronoi

*Luis Perna, Darío Huggenberger, Lorena Franco, Marcelo Chichiri*
*Grupo de Investigación y Desarrollo en Modelos y Sistemas – Fac. Reg. Delta – UTN*
luisperna@gmail.com, dhuggenberger@frd.utn.edu.ar, francol.edu.ar@gmail.com, mchichiri@frd.utn.edu.ar

## Resumen

*Se describe un método para distribuir una cantidad arbitraria de puntos sobre una esfera, basados en el principio de repulsión electrostática de partículas eléctricas con carga de igual signo. El método se basa en aproximar localmente la variedad esfera mediante mapas coordinados, trabajando en $\mathbb{R}^2$ en lugar de en $\mathbb{R}^3$. El método da una solución convergente a la distribución óptima desde el punto de vista de la energía del sistema de puntos, con energía logarítmica decreciente en forma monótona. El propósito de este método es proveer una "inicialización" de puntos de la esfera para optimizar luego desde el punto de vista de las distancias ortodrómicas para obtener diagramas de Voronoi regulares.*

***Palabras claves:*** *Teselación, Ley de Coulomb, Energía logarítmica, Variedad, 2-esfera, Plano Tangente.*

## 1 - Introducción

En el contexto de clusterización mediante Mapas Autoorganizados esféricos es necesario realizar la teselación de la superficie de la esfera mediante polígonos de Voronoi esféricos. En particular se busca que esta teselación se haga mediante polígonos de igual superficie y regulares, lo que implica que los centros de estos polígonos deben estar "uniformemente" distribuidos en la superficie de la esfera. En el contexto del trabajo, el término "uniforme" significa "igual distancia" entre puntos, no debe confundirse con la distribución estadística uniforme. El problema consiste en ubicar una cantidad arbitraria *N* de puntos, que son los centros de los polígonos mencionados, equitativamente, sobre la esfera.

Existen diversos métodos de hacer esta distribución equitativa. Uno de ellos es mediante el uso de poliedros en los cuales la esfera está inscrita o circunscrita. Esto, para algunos números, se hace mediante los cinco poliedros platónicos (tetraedro, hexaedro (cubo), octaedro, dodecaedro e icosaedro) aprovechando sus propiedades [12] lo cual permite distribuir 4, 6, 8, 12 o 20 puntos respectivamente utilizando los vértices del poliedro, con la esfera circunscrita, o bien mediante los centros de las caras de los mismos con la esfera inscrita en ellos. La cantidad de puntos puede aumentarse mediante una posterior triangulación de las caras del polígono empleado [17], pero el número sigue restringido a valores definidos y no cualesquiera.

El planteo original se debe a J. J. Thomson en 1902 [23], quien intentaba distribuir en forma equitativa un número determinado de electrones sobre una órbita esférica del modelo atómico en que estaba trabajando, los cuales se repelerían mutuamente entre ellos por ser todos de carga del mismo signo (negativa).

Para un número arbitrario de puntos se emplean diversos métodos, algunos de ellos basados en minimización de una función energía. *Obtener un mínimo de la energía de la red de puntos no implica obtener la configuración óptima de puntos, que se correspondería con aquella en la que la distancia entre puntos vecinos es constante* [5].

El valor de energía mínima para una configuración de N partículas no se conoce y el problema de ubicar los puntos en forma óptima no tiene pues solución exacta, sólo se puede aproximar. Este problema se conoce hoy como "el 7° problema de Smale" [21].

El presente trabajo desarrolla un método para obtener una teselación para una cantidad arbitraria de puntos basada en minimización de la energía, de modo de producir, en un trabajo posterior, un método para optimizar la configuración así obtenida, aproximándola más a una uniforme. El método consiste en desplazar incrementalmente los puntos según el principio de repulsión electrostática.

En [5] se presenta un método de asignación en el cual, en lugar de minimizar una función energía, se optimiza una función que se basa en las distancias entre pares de puntos.

## 2 - Marco Teórico

Se describen aquí los principios básicos del método empleado, partiendo de la fuerza de repulsión electrostática entre cargas de igual signo, utilizando la energía total del sistema de partículas como métrica para encontrar la solución. Finalmente se mencionan otros métodos no basados en principios electrostáticos.

### 2 - 1 - Fundamentos electrostáticos

En su trabajo original [23], Thomson analizó el movimiento y ubicación de una cierta cantidad de cargas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



negativas (electrones) dentro de una esfera uniformemente "electrificada" con carga positiva, similar al modelo atómico de Bohr. En nuestro caso se considera la fuerza de repulsión entre cargas de igual magnitud e igual signo ubicadas sobre la superficie de una esfera isotrópica, extendiendo, para cada carga, la sumatoria de las Np-1 interacciones con las restantes partículas para obtener la fuerza resultante.

La fuerza de Coulomb entre dos partículas cargadas "1" y "2" viene dada [8,18,20] por:

$$\overrightarrow{F_{1.2}} = k_e \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d_{12}^2} \cdot \overrightarrow{e_{12}} \qquad (1)$$

en la que $k_e$ es una constante dada por:

$$k_e = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \qquad (2)$$

donde $\varepsilon_0$ es la permitividad del vacío, $q_1$ y $q_2$ las cargas respectivas, $d$ la distancia entre los puntos 1 y 2, y $\overrightarrow{e_{12}}$ es un versor en la dirección desde 2 hacia 1.

La Figura 1 ilustra esta situación:

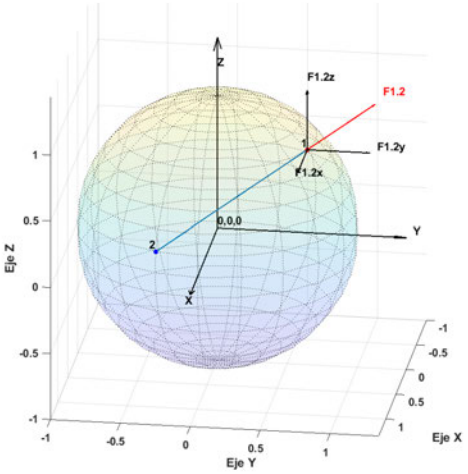



**Figura 1. Fuerza electrostática entre dos partículas**

La fuerza resultante sobre la carga 1 ejercida por la 2, (de repulsión por ser ambas cargas de igual signo) se manifiesta sobre la recta de acción determinada por los puntos 1 y 2, dando origen a una fuerza, F1.2, vector rojo, el cual se descompone en sus componentes F1.2x, F1.2y y F1.2z según las direcciones del sistema de referencia. La fuerza total resultante de la interacción de todas las cargas sobre la i-ésima carga viene dada por:

$$\overrightarrow{F_i} = \sum_{j \neq i} \overrightarrow{F_{ij}} \qquad (3)$$

La Figura 2 muestra la realización de (3) para la carga 1 de la Figura 1 con un total de 4 cargas (la figura no presenta las fuerzas en escala, es sólo ilustrativa).

## 2 – 2 – Función Energía

Designaremos la esfera unitaria en $\mathbb{R}^3$ como $\mathbb{S}^2$ (ver 2-3). La energía electrostática entre dos partículas cargadas viene dada [5,8,20] por:

$$\mathcal{E}_{12} = k_e \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d_{12}} \qquad (4)$$

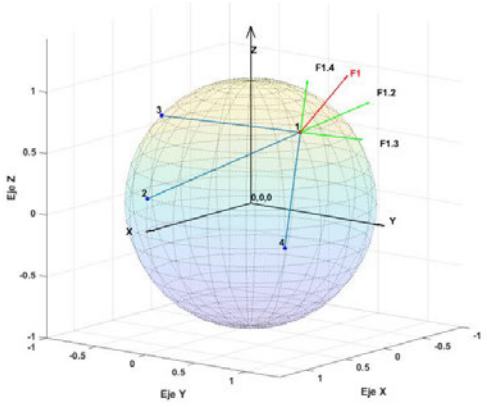



**Figura 2. Fuerza electrostática entre varias partículas**

Para el conjunto de la N partículas cargadas, le energía total será simplemente:

$$\mathcal{E} = \sum_{i \neq j} \mathcal{E}_{ij} \qquad (5)$$

A los fines de nuestro problema (donde no nos interesa la energía real expresada en Joules), podemos considerar $q_1 = q_2 = 1$ , y $k_e = 1$. La distancia indicada en (1) y (4) no es otra cosa que la distancia euclídea entre los puntos considerados, o sea la norma 2 de la diferencia entre los vectores representativos de los puntos en $\mathbb{R}^3$, y designando a estos vectores como $x_i$ y $x_j$ para seguir la nomenclatura usada en la literatura sobre el tema, la (4) se transforma en:

$$\mathcal{E}_{ij} = \frac{1}{\|x_i - x_j\|_2} \qquad (6)$$

y la (5) en:

$$\mathcal{E} = \sum_{i,j=1:i \neq j}^{N} \frac{1}{\|x_i - x_j\|_2} \qquad (7)$$

La expresión (7), que se encuentra en la literatura [6,14, 19], es conocida como "Energía de Coulomb", sin embargo, como se indica en [14], resulta una mejor métrica para partículas en la esfera unitaria, la llamada energía logarítmica [2,6,14,19,22].

La (7), derivada de principios físicos, es un caso particular de la llamada "Energía *s* de Riesz" [22] con s>0:

$$\mathcal{E}_s = \sum_{i,j=1:i \neq j}^{N} \frac{1}{\|x_i - x_j\|_2^s} \qquad (8)$$

para $s = 1$.

Para un conjunto de N partículas en $\mathbb{R}^3$, siguiendo a [14, 19] se define como:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$$V(x_1, x_2 \dots x_N) = \sum_{1 \le i < j \le N} \log \frac{1}{\|x_i - x_j\|_2} \quad (9)$$

o bien:

$$V(x_1, x_2 \dots x_N) = -\sum_{1 \le i < j \le N} \log \|x_i - x_j\|_2 \quad (10)$$

expresión que se deduce de (8) para $s \to 0$ [6].

El mínimo de (9):

$$V_N = \min_{x_1, \dots x_N \in \mathbb{S}^2} V(x_1 \dots . x_N) \quad (11)$$

corresponderá a la distribución buscada sobre la esfera. Los puntos de esta configuración se conocen como "puntos de Fekete". Encontrar este mínimo para cualquier N es el 7° problema de Smale antes citado. Lo que se dispone por el momento es de una expresión para dicho mínimo, debida a Bétermin y Sandier [22], en la que no hay aún un valor para el coeficiente "$c$" del término lineal en N:

$$V_N = \left(\frac{1}{2} - log2\right) \cdot N^2 - \frac{N \cdot logN}{2} + c \cdot N + o(N) \quad (12)$$

Lo que se hará en el método propuesto es evaluar la (10) para las diversas configuraciones obtenidas a partir de un proceso iterativo y detener el proceso cuando la diferencia relativa entre dos energías en inicio y fin de una cierta cantidad de iteraciones sea menor que algún valor preestablecido.

## 2 – 3 – Fundamentación del método propuesto

El método se basa en partir de una configuración inicial $\mathcal{C}^0$ de puntos distribuídos aleatoriamente sobre la esfera:

$$\mathcal{C}^0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots \dots \dots x_N^0\} \quad (13)$$

Para cada una de las N partículas cargadas eléctricamente (puntos) se calcula la fuerza total ejercida sobre cada una según (3). Bajo la influencia de esta fuerza, la carga sufriría una aceleración, según la segunda Ley de Newton:

$$a_i = \frac{\vec{F_i}}{m} \quad (14)$$

Esta aceleración, en un $\Delta t$ pequeño, hará que la partícula recorra una distancia $S_i$ también pequeña, en la dirección de la fuerza $F_i$.

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\vec{F_i}}{m} \cdot \Delta t^2 \quad (15)$$

donde $m$ es la masa de la partícula. Haciendo arbitrariamente $m = \frac{1}{2}$, y llamando $k$ a $k = \Delta t^2$, la (15) se reescribe como:

$$\overrightarrow{S_i} = k \cdot \vec{F_i} \quad (16)$$

Se obtiene así una nueva coinfiguración de las partículas, $\mathcal{C}^1$, con la cual se vuelve a aplicar (3) y (16), y así en forma iterativa, mientras se evalúa la función de energía como se expresó más arriba, hasta determinar el momento de detención, en que tendremos una configuración final $\mathcal{C}^F$:

$$\mathcal{C}^F = \{x_1^F, x_2^F, \dots \dots \dots x_N^F\} \quad (17)$$

la cual no será la óptima sino la mejor obtenida mediante la obtención asintótica del mínimo de energía $V_N$.

Las figuras 1 y 2 están basadas en un sistema de referencia cartesiano (X, Y, Z). Emplearemos un segundo sistema basado en la "longitud" y "latitud" de un punto al igual que en la esfera terrestre, utilizando el sistema de "paralelos" y "meridianos" como se verá en el apartado 3. En la figura 3 se han representado el recorrido S resultante de la partícula "1" y sus componentes en el sistema de coordenadas cartesiano (X, Y, Z). También se han indicado el "Ecuador" y el meridiano "Greenwich" que nos servirán de referencia en la implementación del método.

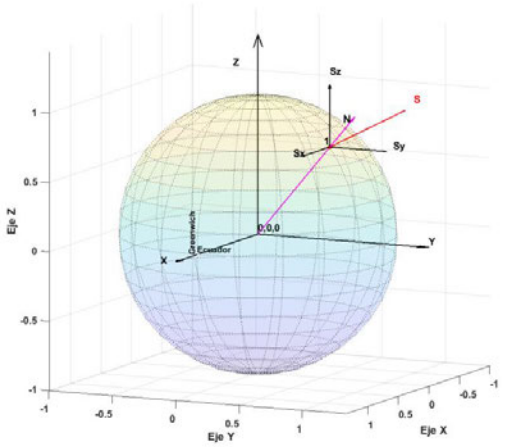



**Figura 3. Desplazamiento total y sus componentes**

Volvemos a la expresión (1), la cuál con lo previamente establecido, generalizando para las partículas *i* y *j* en lugar de 1 y 2 y haciendo:

$$q_i = q_j = 1; \qquad d_{ij} = \|\boldsymbol{x}_i - \boldsymbol{x}_j\|_2 \quad (18)$$

resulta:

$$\overrightarrow{F_{i,j}} = \frac{1}{\|x_i - x_j\|_2^2} \cdot \overrightarrow{e_{ij}} \quad (19)$$

A partir de la (19), como se verá en el apartado 3, se pueden calcular las componentes según X, Y, Z de la fuerza y mediante (15) las del desplazamiento, $\overrightarrow{S_{ix}}$, $\overrightarrow{S_{iy}}$ y $\overrightarrow{S_{iz}}$. Estas tres componentes se ilustran en la Figura 3.

Es claro que la fuerza según (15) presenta, para toda partícula "*i*", una componente dirigida hacia *afuera* de la esfera. Dado que imponemos a las partículas que se muevan solamente *sobre la esfera*, debe entonces anularse la componente de *Fi* según la normal a la esfera en el punto ***i*** considerado. Como no estamos involucrados con un problema de cargas reales, basta con decir que esta componente no se considerará y nos quedaremos con una componente en el plano tangente al punto.

Aquí es importante la consideración de la esfera como una 2-variedad. Esencialmente, una variedad (manifold en inglés) de dimensión *n* es un espacio que en todos sus

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



puntos se comporta localmente como un espacio euclídeo de dimensión $n$. Para una definición formal, referirse al Capítulo 2 de [15].

La esfera es designada en topología como "2-esfera", pues es una 2-variedad, definida, para radio unitario, según:

$$\mathbb{S}^2 = \{x \in \mathbb{R}^3 : |x| = 1\} \qquad (20)$$

La esfera pertenece a $\mathbb{R}^3$, y, siendo una superficie curva, no puede aplicarse sobre ella la distancia euclídea, sin embargo, es una variedad de dimensión 2 porque en cada punto se comporta localmente como el espacio euclídeo $\mathbb{R}^2$.

La definición de variedad implica que para cada punto de la variedad existe un homeomorfismo local entre un conjunto abierto en $\mathbb{R}^m$, donde se encuentra la variedad, $\mathbb{R}^3$ en el caso de la esfera, y un conjunto abierto en el espacio euclídeo $\mathbb{R}^n$, con n ≤ m, en nuestro caso, $\mathbb{R}^2$, en el que el conjunto abierto es un disco.

La esfera puede ser "cubierta" por un conjunto de *cartas locales* que establecen para cada punto de la misma, un entorno en el cual la esfera se comporta como un espacio euclídeo de dimensión 2. En el caso de la esfera se puede establecer una transición de una carta centrada en un punto a otra carta centrada en otro punto en forma suave y sin "saltos" por lo que se define como "variedad suave" [16], lo que nos permite pasar de una configuración $\mathcal{C}^m$ a la siguiente en cada iteración del algoritmo.

En todo punto $a \in \mathbb{S}^2$ encontramos un espacio tangente a la esfera en *a,* que es un subespacio de $\mathbb{R}^3$ de dimensión 2, formado por todos los vectores perpendiculares a la normal a la superficie en el punto *a* [16]. En este plano, llamado también plano tangente, se cumple la geometría euclidiana y podemos trabajar en un entorno de *a* como si la superficie en ese punto fuese euclídea, de modo que el cálculo de un desplazamiento suficiente pequeño sobre este plano tangente aproxima tanto como se quiera al verdadero desplazamiento sobre la esfera. Esta es la idea que empleamos para nuestro método: Dada una configuración $\mathcal{C}^m$ calculamos la siguiente, $\mathcal{C}^{m+1}$, desplazándonos sobre los planos tangentes a cada uno de los puntos $\{x_1^m, x_2^m, \ldots\ldots, x_N^m\}$ de la configuración, y los nuevos puntos así determinados, asignarlos a la esfera obteniendo $\mathcal{C}^{m+1}$.

La Figura 4 nos presenta el punto "1" en el cual hemos indicado la normal N al punto y el plano tangente PT al punto sobre el cual hemos elegido dos direcciones "*m*" y "*p*", perpendiculares entre sí, según las direcciones tangentes al meridiano y al paralelo que pasan por ese punto sobre este plano y según esas direcciones calcularemos los desplazamientos.

En el apartado 3 veremos los detalles de la implementación.

## 2 – 4 – Otros métodos para la ubicación de puntos en la esfera

En [9,11] se presentan otros métodos basados en la proyección estereográfica de la esfera desde el polo norte sobre un plano tangente al polo sur. Los diversos métodos ubican los N puntos sobre este plano y luego se hace la

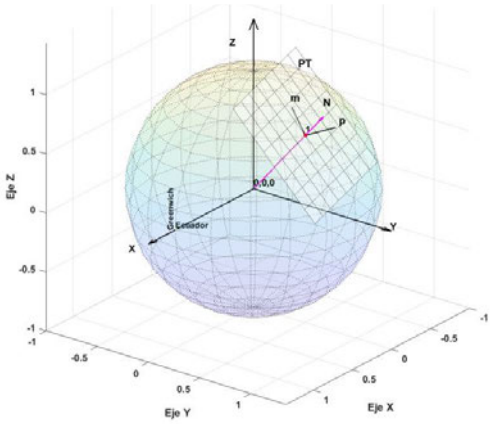



**Figura 4. Plano tangente en el punto considerado**

inversa de la proyección estereográfica para ubicarlos sobre la esfera [11].

La Figura 5 presenta un punto **P0** ubicado sobre el plano tangente al polo sur (z = -1) en la posición x = 0,56, y = 1,67, que es la proyección estereográfica del punto "1" sobre la esfera. Los procedimientos generan los puntos sobre el plano **Pi,** i = 1…N y luego, mediante la inversa de la proyección, se convierten en los puntos 1, 2…N sobre la esfera. Es evidente que una distribución "equivalente" sobre la esfera debe dar una distribución "no equivalente" sobre el plano. El plano en $\mathbb{R}^2$ de la Figura 5 es el plano complejo, $\mathcal{C}$. Cuando los puntos de Fekete se proyectan sobre $\mathcal{C}$, sus proyecciones son las raíces de polinomios de grado N con número de condición óptimo (el número de condición mide la sensibilidad de las raíces del polinomio ante variaciones de sus coeficientes), y se conocen como polinomios de Fekete.

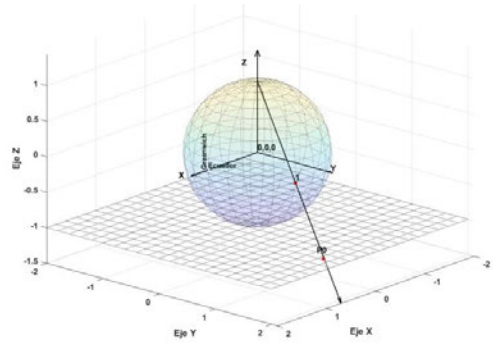



**Figura 5. Proyección estereográfica de la esfera**

El problema de encontrar polinomios en los cuales el número de condición crezca en forma polinómica con N, y no exponencial, fue planteado por Schub y Smale en 1993 y su solución se encontró en 2020 por investigadores de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Universidad de Barcelona y Cantabria [4].

Basados en la proyección estereográfica encontramos los siguientes métodos:

a) Raíces de polinomios con coeficientes aleatorios. Se trata de polinomios cuyos coeficientes se determinan aleatoriamente desde una distribución especial (Bombieri-Weil) [7]

b) Autovalores de un "ensamble esférico", [1]. Dadas dos matrices gausianas complejas, $A$ y $B$, de distribución $\mathcal{N}(0,1)$, los autovalores del producto $A^{-1} \cdot B$ tienden a repelerse entre sí.

Finalmente mencionamos otro método, que trabaja directamente con puntos sobre la esfera, es el método del "ensamble diamante", [3], que ubica puntos sobre paralelos en forma inversamente proporcional al diámetro de los mismos y efectuando rotaciones de los puntos para distribuírlos equitativamente.

## 3- Metodología e Implementación

En este apartado se describe el programa generado para efectuar la asignación de puntos.

### 3 – 1 – Expresiones empleadas

En la expresión (17), el versor $\overrightarrow{e_{12}}$ viene dado por los cosenos directores del mismo:

$$\overrightarrow{e_{12}} = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}\hat{\imath} + \frac{y_1 - y_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}\hat{\jmath} + \frac{z_1 - z_2}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}\hat{k} \quad (20)$$

y dado que

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} = \|\boldsymbol{x_1} - \boldsymbol{x_2}\|_2 \quad (21)$$

es la distancia entre los puntos 1 y 2, reemplazando (21) en (20) y ésta en (19):

$$\overrightarrow{F_{1.2}} = \frac{1}{[\![x_1 - x_2]\!]_2^3} \cdot \left[(x_1 - x_2)\hat{\imath} + (y_1 - y_2)\hat{\jmath} + (z_1 - z_2)\hat{k}\right] \quad (22)$$

de modo que sus componentes son:

$$F_{1.2x} = \frac{(x_1 - x_2)}{[\![x_1 - x_2]\!]_2^3} \quad (23\text{-a})$$

$$F_{1.2y} = \frac{(y_1 - y_2)}{[\![x_1 - x_2]\!]_2^3} \quad (23\text{-b})$$

$$F_{1.2z} = \frac{(z - z_2)}{[\![x_1 - x_2]\!]_2^3} \quad (23\text{-c})$$

Aplicando (3) sobre cada una de las componetes de fuerzas dadas por las (23), extendida al caso general para la partícula i-ésima, tenemos:

$$F_{ix} = \sum_{j \neq i}{}_j \frac{(x_i - x_j)}{[\![x_1 - x_2]\!]_2^3} \quad (24\text{-a})$$

$$F_{iy} = \sum_{j \neq i}{}_j \frac{(y_i - y_j)}{[\![x_1 - x_2]\!]_2^3} \quad (24\text{-b})$$

$$F_{iz} = \sum_{j \neq i}{}_j \frac{(z_i - z_j)}{[\![x_1 - x_2]\!]_2^3} \quad (24\text{-c})$$

Y finalmente, aplicando (16) calculamos las componentes según XYZ del desplazamiento total de la partícula:

$$\overrightarrow{S_{ix}} = k \cdot \overrightarrow{F_{ix}} \quad (25\text{-a})$$

$$\overrightarrow{S_{iy}} = k \cdot \overrightarrow{F_{iy}} \quad (25\text{-b})$$

$$\overrightarrow{S_{iz}} = k \cdot \overrightarrow{F_{iz}} \quad (25\text{-c})$$

Estas tres componentes se ilustran en la Figura 3. Las (24) y las (25) se emplearán en el algoritmo de distribución de puntos. En las (25), $k$ actúa como un "factor de convergencia", que cuanto más pequeña converge a un valor con mayor precisión, pero a una velocidad más lenta.

Cada punto de los N a ubicar se identificará por su posición en el sistema de coordenadas cartesianas X, Y, Z y por su latitud y longitud, utilizándose la primera para el cálculo de las fuerzas (ecuaciones 24) y los desplazamientos (ecuaciones 25) mientras que la posición polar la emplearemos para convertir los valores de desplazamiento en X, Y, Z a desplazamientos en las direcciones $m$ y $p$. La Figura 6 presenta las definiciones de los ángulos θ para la longitud (a) y λ para la latitud (b).

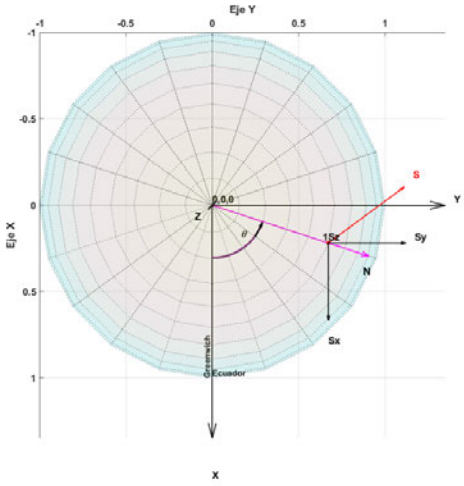



**Figura 6 (a). Definición de la longitud**

La latitud se mide igual que el globo terráqueo, Norte y Sur, de 0 a +90° y 0 a -90° respectivamente. Se miden a a partir del paralelo 0°, que designamos "Ecuador". El Polo Norte se ubica en las coordenadas X, Y, Z (0,0,1) y el Polo Sur en (0,0,-1). La longitud se mide desde el meridiano 0°, que designamos Greenwich, pero a diferencia del globo terrestre, se mide de 0° a 360° en sentido levógiro.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



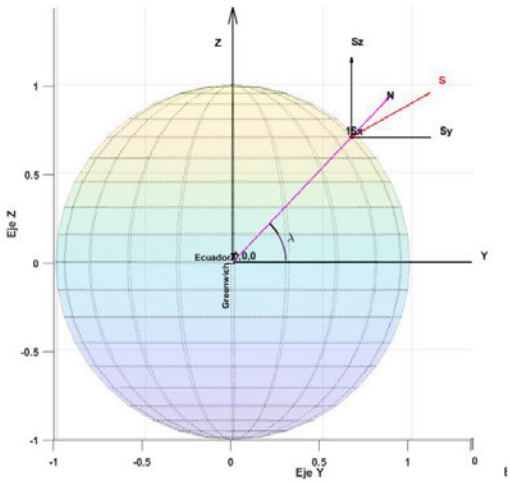



**Figura 6 (b). Definición de la latitud**

En la Figura 3 y siguientes se han marcado el Ecuador y el Greenwich y su intersección, un punto blanco sobre el eje X, posición 1,0,0. Este sistema de longitud y latitud es esencial en la determinación del método propuesto.

En la Figura 7 hemos representado un punto "*i*" arbitrario y sobre él hemos ubicado los tres desplazamientos *Sx*, *Sy* y *Sz*, también arbitrarios, de magnitudes (exageradas para que se vean en el gráfico) de 0,4; 0,3 y 0,6 respectivamente. El punto está ubicado en Longitud = 54° Oeste (en nuestro sistema de referencia, θ = 306° y Latitud = 27° Norte (en nuestro sistema de referencia corresponde a λ = +27°).

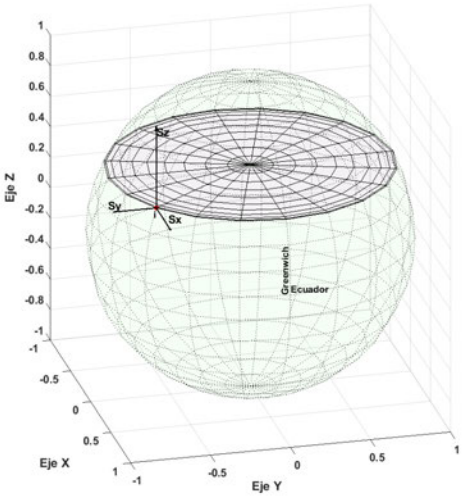



**Figura 7. Las tres componentes de S en <XYZ>**

Con la elección hecha de ambos sistemas de coordenadas, cada paralelo se encuentra en un plano paralelo al plano <*x,y*>. En la Figura 8 se presenta el plano tangente en el punto "*i*", PT, y sobre él se han indicado las coordenadas locales <*p, m*> con el (0,0) sobre el punto "*i*".

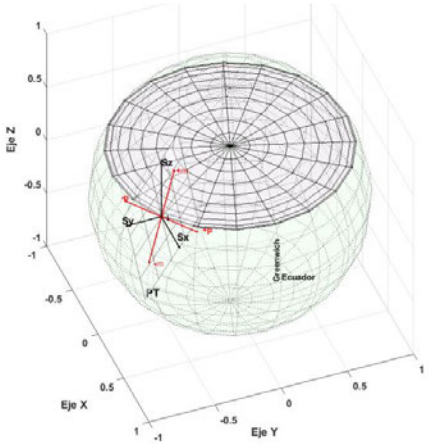



**Figura 8. Relación de direcciones en <XYZ> y <mp>**

El nuevo sistema <*p, m*> pertenece a $\mathbb{R}^2$, y un disco abierto en él, centrado en (0,0) es una representación euclídea de una zona de la superficie no euclídea de la esfera, que se encuentra dentro de una bola abierta en $\mathbb{R}^3$, centrada en $(x_i, y_i, z_i)$.

Debe observarse que la dirección de la coordenada "*p*" pertenece tanto al plano tangente PT como al plano del meridiano que contiene el punto considerado.

Dadas las componentes *Six*, *Siy* y *Siz* del desplazamiento (en las que eliminamos el subíndice *i* para simplificar) calculadas para el punto "*i*", *Sx* y *Sy* producen una resultante, que llamamos *Sxy*, en el plano que contiene al paralelo sobre el que se ubica "*i*". *Sxy* tiene en consecuencia, una componente sobre la dirección "*p*", la que designamos *Sp*. Por ser perpendicular al plano <*x, y*>, *Sz* no genera componente sobre la dirección "*p*". A su vez, *Sxy* tiene otra componente sobre la normal al paralelo en el punto "*i*", *Npi,* (ver Figura 10). Esta componente, que designamos *Snp*, junto con *Sz*, generarán una componente sobre la dirección "*m*" del plano tangente *PT*. La normal *Nmi* al punto en el plano del paralelo es la proyección sobre tal plano de la normal al punto sobre la esfera, *N*.

En la Figura 9 se presenta el esquema completo. El desplazamiento real a partir del punto "**i**" es *"S"* y lleva fuera de la esfera. Lo que se va a emplear para calcular el desplazamiento es la resultante de *Sm* y *Sp* que yace sobre el plano tangente PT y designamos *Spt*, la cual no es otra cosa que la proyección de *S* sobre el PT. El punto *Qt* es la proyección del extremo de *S* sobre PT.

La Figura 10 nos presenta un punto "i" genérico sobre la esfera y el meridiano que lo soporta, paralelo al plano <x,*y*>. y la dirección "*p*" sobre la que se indican los sentidos. También se muestra *la normal al paralelo*, *Npi*, en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



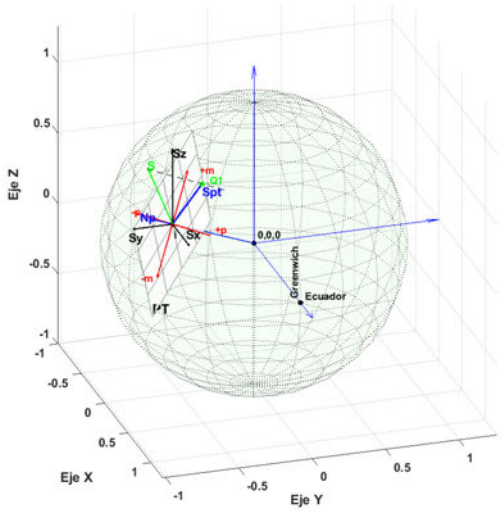



**Figura 9. Las componentes <XYZ> proyectadas al PT**

el punto considerado. Esta normal yace en el plano <x, *y*>, y la designamos *Snp*. El punto se encuentra a una longitud θ, siendo irrelevante en este momento, la latitud.

Para obtener las representaciones de $S_{ix}$, $S_{iy}$ y $S_{iz}$, o sea, de $\overrightarrow{S_i}$ en el sistema <*p, m*> se emplean las transformaciones que presentamos a continuación:

***a) Sobre eje p***:

La resultante de *Sx* y *Sy* sobre "*p*", *Sp*, se calcula, de la observación de la figura según:

$$S_p = -S_x \cdot sen\ \alpha + S_y \cdot sen\beta \qquad (26)$$

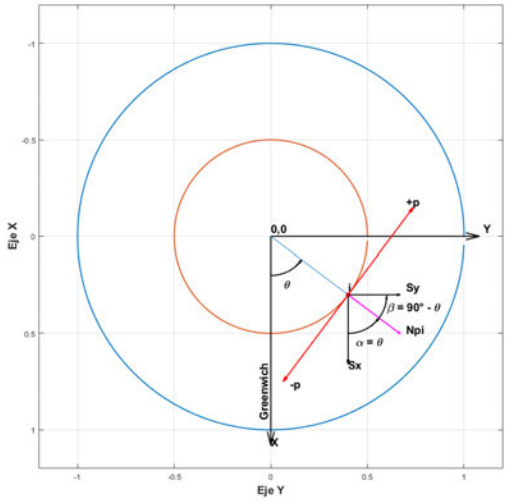



**Figura 10. Definición de las componentes según "p"**

Aplicando relaciones geométricas conocidas, reescribimos la (26) como:

$$S_p = -S_x \cdot sen\ \theta + S_y \cdot cos\theta \qquad (27)$$

La componente *Sz* no interviene por ser perpendicular al plano <x, *y*>. Se demuestra fácilmente que la (27), aunque deducida en el primer cuadrante, es válida para todo valor de θ entre 0 y 2π.

***b) Sobre eje m:*** Aquí intervienen las proyecciones sobre la dirección "*p*" de la componente *Sz*, y de la componente *Snp* antes citada.

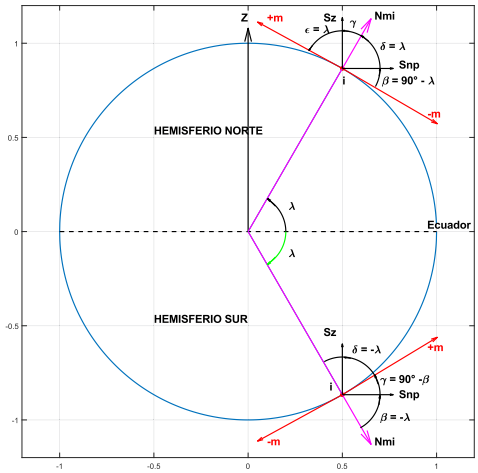



**Figura 11. Definición de las componentes según "m"**

La Figura 11 presenta el punto genérico "*i*" y en él se representan las componentes *Sz* y *Snp*. La componente *Snp* la definimos positiva en el sentido de la normal (hacia afuera de la esfera) en todo punto. La figura representa el círculo meridiano sobre el cual se encuentra el punto "*i*", por lo que sólo es destacable marcar la proyección del Ecuador sobre el círculo meridiano. Se indica también la *normal al círculo meridiano, Nmi*, en el punto considerado. Cabe destacar que esta normal es a su vez la normal a la esfera en el punto.

De la Figura 11 se deduce que la componente *Sm* en nuestro nuevo sistema coordenado, para cualquier hemisferio es:

$$S_m = S_z \cdot cos\lambda - S_{np} \cdot sen\lambda \qquad (28)$$

El valor de *Snp* lo deducimos de la Figura 10, y es la suma de las proyecciones de las componentes *Sx* y *Sy* sobre la normal al paralelo, *Nmi*, a partir de:

$$S_{np} = S_x \cdot cos\theta + S_y \cdot cos\beta = S_x \cdot cos\theta + S_y \cdot cos\left(\pi/2 - \theta\right) \qquad (29)$$

o sea:

$$S_{np} = S_x \cdot cos\theta + S_y \cdot sen\theta \qquad (30)$$

La componente *Snp* la definimos positiva en el sentido de la normal (hacia afuera de la esfera) en todo punto, entre esta normal y el plano tangente al punto considerado, sobre el que yace "*m*" tenemos el ángulo γ. Se deduce de la Figura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



10 que la (30) es válida para todo valor de θ entre 0 y 2π.

Así, las componentes calculadas según (25) se llevan a la carta euclídea <*p,m*> centrada en el punto de coordenadas (θ,λ) mediante las (27) y (28). Estos desplazamientos son una aproximación lineal al verdadero desplazamiento sobre la esfera, cuyas componentes son los elementos de arco $\Delta l$ recorridos según el paralelo y el meridiano, de modo que:

$$\Delta l_p \cong S_p \qquad (31\text{-a})$$

$$\Delta l_m \cong S_m \qquad (31\text{-b})$$

y dado que el radio de la esfera es unitario, los ángulos recorridos son:

$$\Delta\theta = \Delta l_p = S_p \qquad (32\text{-a})$$

$$\Delta\lambda = \Delta l_m = S_m \qquad (32\text{-b})$$

con lo que la posición del punto en la nueva configuración, sobre las coordenadas de la esfera resulta ser:

$$\theta^{m+1} = \theta^m + \Delta\theta \qquad (33\text{-a})$$

$$\lambda^{m+1} = \lambda^m + \Delta\lambda \qquad (33\text{-b})$$

Para calcular luego el nuevo desplazamiento para la configuración *m+2*, debe llevarse nuevamente a las coordenadas cartesianas XYZ, mediante:

$$x^{m+1} = cos\lambda^{m+1} \cdot cos\theta^{m+1} \qquad (34\text{-a})$$

$$y^{m+1} = cos\lambda^{m+1} \cdot sen\theta^{m+1} \qquad (34\text{-b})$$

$$z^{m+1} = sen\lambda^{m+1} \qquad (34\text{-c})$$

### 3 – 2 – Implementación

La Figura 12 presenta el esquema general del programa, implementado en MATLAB©, de acuerdo con lo expresado en 3-1.

El programa permite calcular la ubicación de los puntos sobre la esfera de radio unitario, partiendo de una configuración inicial aleatoria a través de una serie de iteraciones. En cada iteración se calcula una nueva ubicación a partir de la fuerza de repulsión electrostática cargada para cada una de las NP "partículas cargadas" representativas de los respectivos puntos. En cada iteración se calcula la energía logarítmica de la red, la cual se verifica que decrece en forma monótona, sin aparecer mínimos locales, salvo alguno aislado en las iteraciones iniciales cuando se emplean ganancias muy elevadas y alguna configuración inicial particular. Se ha implementado un método de detención automática: cada cierta cantidad de iteraciones (paso) se calcula la variación relativa de la energía logarítmica según:

$$\frac{Energía\ (iteración) - Energía\ (iteracion-paso)}{Energía\ (iteración)} \qquad (35)$$

cuando ese valor se hace menor a cierto valor prefijado por el usuario, el programa se detiene y presenta los resultados.

```
-Inicialización

    Ingreso de:
     - Cantidad de Puntos (NP)
     - Velocidad de ajuste Ka
     - Cantidad de Iteraciones
       (IterMax)
     - Intervalo (paso) para
       evaluar detención
     - Error relativo para
      detención

-Genera Distribución Inicial de
 Puntos aleatroria

-Calcula Energía Inicial de la
 Red de puntos

for iter = 1 to IterMax
    for i = 1 to NP
       - Inicializa Fuerza total
          Sobre partícula i

         -Calcula desplazamiento
          Electrostíatico en R³

         -Calcula desplazamiento
         en Plano Tangente en R²

         -Calcula nueva posición
         sobre la esfera
    end

    - Calcula Energia de la Red

    - Verifica condición de
      parada
end

-Determina configuracion final
-Calcula distancias geodésicas
-Grafica Distribución Final
 sobre la Esfera unitaria
```

Figura 12. Estructura del Programa

Luego de la inicialización se genera una distribución aleatoria de *NP* puntos sobre la esfera mediante distribuciones uniforme en los tres ejes X, Y Z, ajustadas de modo que el módulo del vector correspondiente valga 1, expresando la posición de cada uno en coordenadas cartesianas y geográficas (latitud y longitud).

El núcleo del programa es la realización de las iteraciones, donde cada uno de los procedimientos dentro del lazo son simplemente el traslado a código de las expresiones antes vistas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El "Desplazamiento Electrostático en $\mathbb{R}^3$" es la simple aplicación de las expresiones (23), (24) y (25).

Luego se efectúa la operación principal que consiste en trasladar estos desplazamientos en $\mathbb{R}^3$ a los equivalentes en el plano tangente en $\mathbb{R}^2$ a cada punto, según las direcciones perpendiculares entre sí, *Sp* y *Sm*, empleando las expresiones (26) a (31). Con estos desplazamientos en longitud y latitud, se ubica la nueva posición del punto mediante su nuevas longitud y latitud, expresiones (32). En este cálculo se ajustan, si es preciso, la longitud para mantenerla en el intervalo $[\mathbf{0}, \mathbf{2\pi}]$, y la latitud para mantenerla dentro de los intervalos $\left[\mathbf{0}, \boldsymbol{\pi}/\mathbf{2}\right]$ y $\left[\mathbf{0}, -\boldsymbol{\pi}/\mathbf{2}\right]$. En este último caso, si se pasa sobre el Polo Norte o el Polo Sur, se ajusta también nuevamente la longitud pues ésta cambia abruptamente en π radianes.

Finalmente, esta posición en $\mathbb{R}^2$ se traslada $\mathbb{R}^3$ mediante (33) para calcular una nueva iteración.

Recalculados los puntos, se calcula la energía logarítmica de la nueva red empleando la expresión (10), para poder graficar su evolución y emplearla para la detención del programa.

Una vez culminadas las iteraciones se calculan las distancias geodésicas entre los puntos para determinar el grado de uniformidad de la distribución obtenida mediante este proceso de minimización de energía. Para el cálculo de la distancia geodésica u ortodrómica entre dos puntos cualesquiera P y Q empleamos la expresión siguiente [10]:

$$\triangle \boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{tan}^{-1} \frac{\|\boldsymbol{N_P} \times \boldsymbol{N_Q}\|_2}{\boldsymbol{N_P} \cdot \boldsymbol{N_Q}} \qquad (36)$$

que nos da el arco en radianes entre los dos puntos considerados, en la que $N_P$ y $N_Q$ son los vectores normales a la esfera en los puntos considerados. Dado que el radio de la esfera es unitario, la (36) da directamente la longitud del arco. Los vectores $N_P$ y $N_Q$ se obtienen directamente de las coordenadas cartesianas de cada punto. El ángulo $\triangle \boldsymbol{\sigma}$ se ajusta a que se mantenga entre 0 y $\boldsymbol{\pi}$. Finalmente ordena los puntos según distancias crecientes para obtener la vecindad de los puntos entre sí.

## 4 – Resultados Obtenidos

Se efectuaron corridas para distintas cantidades de puntos, describimos a continuación los resultados obtenidos para 12 y 260 puntos.

### 4-1 Para 12 puntos

Se eligió esta configuración por corresponder a un icosaedro, uno de los poliedros platónicos. Los parámetros usados fueron:

ka = 0,1
Intervalo de evaluación: 100 iteraciones
Energía relativa de detención: $10^{-10}$

Se presentan los resultados de una de las corridas realizadas. El programa se detuvo a las 300 iteraciones, la energía logarítmica disminuyó como se ilustra en la Figura 13, partiendo de un valor inicial de -9,604 hasta llegar a -21,606.

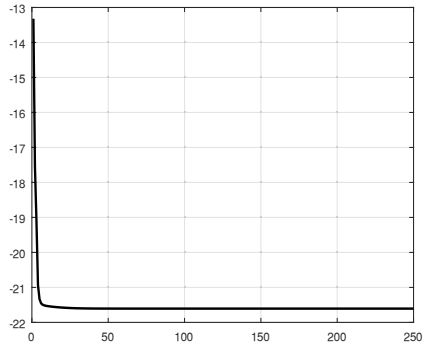



**Figura 13. Evolución de la energía logarítmica (12 puntos)**

Para los cinco puntos más próximos a cada punto se obtuvieron distancias ortodrómicas entre 1,10714869 y 1,10714875 (o sea valores sexagesimales de arco de 63° 23' 5,81"). Con mayor cantidad de iteraciones estos valores tenderán a cero. Este es uno de los pocos casos en los que minimizar la energía resulta en lograr la óptima separación entre partículas.

Otras corridas han detenido el programa en 300 o 400 iteraciones, llevando a la misma distancia ortodrómica con el mismo valor de energía final a pesar de partir de distintas energías iniciales como corresponde a distintas configuraciones iniciales.

### 4-1 Para 260 puntos

Este caso es interesante pues constituye uno de los tantos en el cual la energía mínima no coincide con la distribución equitativa entre puntos en la configuración final y porque, además, permite comparar resultados con otros presentados en [9] para esa cantidad de puntos. Se efectuaron varios ensayos, consignando los datos de dos de ellos. Para el primero los parámetros usados fueron:

ka = 0,0001
Intervalo de evaluación: 1000 iteraciones
Energía relativa de detención: $1x10^{-9}$

El programa se detuvo a las 56.000 iteraciones, la energía logarítmica disminuyó como se ilustra en la Figura 14 partiendo de un valor inicial de -6.299,204 hasta llegar a -6.896,489.

En la Figura 15 se amplía para identificar el decaimiento, ya que la velocidad con que se aproxima al valor final es muy elevada. Se efectuó otra corrida cambiando solamente la Energía relativa de detención a $1x10^{-10}$. El valor de energía logarítmica final logrado, partiendo de una energía inicial de -6.439,99, luego de 64.000 iteraciones, fue de -6.896,513.

Se efectuó otra corrida cambiando solamente la Energía relativa de detención a $1x10^{-10}$.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El valor de energía logarítmica final logrado, partiendo de una energía inicial de -6.439,99, luego de 64.000 iteraciones, fue de -6.896,513.

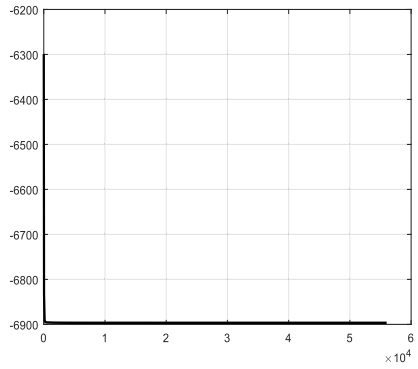



**Figura 14. Evolución de la energía logarítmica (260 puntos)**

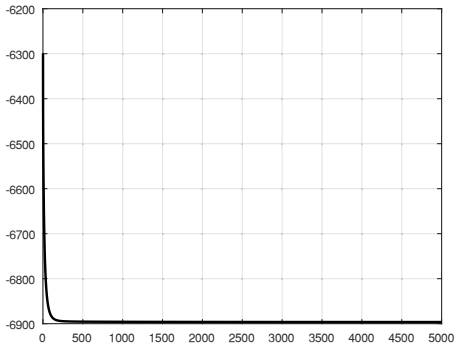



**Figura 15. Evolución de la energía logarítmica (260 puntos)**

Comparamos este valor con los obtenidos en [9] para la misma cantidad de puntos usando métodos más analíticos (no físicos) mencionados en 2-4, según la tabla siguiente:

**Tabla 1**

| Método | Energía |
|---|---|
| Uniforme | -6.308,71 |
| Valores Propios $A^{-1}.B$ | -6.837,76 |
| Raíces de Polinomios Aleatorios | -6.868,08 |
| Conjunto Diamante | -6.895,91 |
| ***Nuestro método Electrostático en Plano Tg*** | -6.896,51 |
| Flujo Gradiente | -6.896,53 |

En la tabla aparece el valor obtenido con la distribución uniforme, que es equivalente a nuestro punto de partida, y se agrega el método de Flujo gradiente, ambos no mencionados en 2-4. Como se ve, nuestro resultado coincide con el mejor de los presentados en [9]. Se debe tener en cuenta que el valor mínimo de energía no es conocido.

Se ha encontrado que hay puntos para los cuales hay 6 cercanos, formando un hexágono y hay otros puntos para los cuales hay 5 cercanos, formando un pentágono, lo que demuestra que la distribución no es óptima desde el punto de vista de la regularidad de los polígonos de Voronoi. Las distancias ortodrómicas en ambos casos, en grados sexagesimales, están, aproximadamente, entre 12° y 16°. La Figura 16 muestra la distribución obtenida:

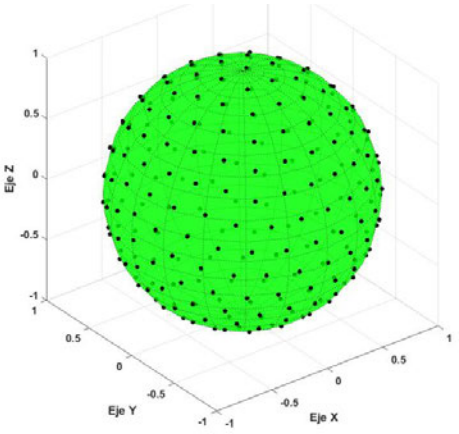



**Figura 16. Distribución de los 260 puntos sobre la esfera**

## 5 – Conclusiones

El método presentado tiene una fundamentación teórica consistente, basándose en principios físicos deterministicos (Ley de Coulomb) y la teoría matemática de variedades. Converge rápidamente a un valor mínimo de energía, comparándose satisfactoriamente con otros métodos. Dado que la idea es emplearlo para obtener una aproximación a la distribución óptima desde el punto de vista de la teselación de la esfera en N polígonos de Voronoi regulares, de acuerdo con lo que se observa en las figuras 13 a 15, no será necesario iterar tantas veces, por ejemplo, en el caso de 260 puntos bastaría con iterar menos de 1.000 veces para obtener un buen resultado aproximado.

## 6 – Trabajo futuro

Se prevé desarrollar un método más simple que evite trabajar en el plano tangente, lo cual disminuirá la carga de cómputo. Se ha empleado ya en un trabajo previo [13] con buen resultado, su fundamento teórico estaría dado por el presente trabajo, en consecuencia, se trabajará esta variante. El paso posterior consistirá en desarrollar un programa que permita ajustar y mejorar la teselación obtenida en esta primera fase. Finalmente, la idea es utilizarlo en la inicialización de un mapa autoorganizado de Kohonen para clusterizar series temporales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Referencias

[1] ALISHAHI, Kasra; ZAMANI, Mohammadsadegh. The spherical ensemble and uniform distribution of points on the sphere. 2015.

[2] ARMENTANO, Diego; CARRASCO, Federico; FIORI, Marcelo. On the logarithmic energy of solutions to the polynomial eigenvalue problem. arXiv preprint arXiv:2408.11148, 2024.

[3] BELTRÁN, Carlos; ETAYO, Ujué. The diamond ensemble: a constructive set of spherical points with small logarithmic energy. Journal of Complexity, 2020, vol. 59, p. 101471.

[4] BELTRÁN, Carlos, et al. A sequence of polynomials with optimal condition number. arXiv preprint arXiv:1903.01356, 2019.

[5] DEL BONO, Luca Maria; NICOLETTI, Flavio; RICCI-TERSENGHI, Federico. The most uniform distribution of points on the sphere. PloS one, 2024, vol. 19, no 12, p. e0313863.

[6] DRAGNEV, Peter D.; LEGG, David A.; TOWNSEND, Douglas W. Discrete logarithmic energy on the sphere. Pacific journal of mathematics, 2002, vol. 207, no 2, p. 345-358.

[7] ETAYO, Ujué. A sharp Bombieri inequality, logarithmic energy and well conditioned polynomials. Transactions of the American Mathematical Society, 2021, vol. 374, no 7, p. 5113-5129.

[8] FEYNMAN, Richard P., "The Feynman Lectures on Physics" Vol. II Ch. 4_ Electrostatics - (1970). Addison-Wesley. ISBN-10. 0465024947; ISBN-13. 978-0465024940; New Millennium ed.; Publisher. Basic Books October 4, 2011. https://www.feynmanlectures.caltech.edu/

[9] FIORI M.: "Coloquios de Física - Cómo distribuir puntos en una esfera y por qué es una pregunta importante". Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Uruguay. Conferencia presentada el 01/09/2022. https://www.youtube.com/live/8JtBVp_wY4E?si=rWTXfnaqlv6fv-R8

[10] GADE, Kenneth. A non-singular horizontal position representation. The journal of navigation, 2010, vol. 63, no 3, p. 395-417. doi:10.1017/S0373463309990415

[11] Gaussianos.com: "¿Cómo distribuir puntos en una esfera? https://www.gaussianos.com/como-distribuir-puntos-en-una-esfera/

[12] HERRERA, Arnoldo Abraham Herrera; MARTÍNEZ, Ingrid Judith Orozco; DÍAZ, Iván Augusto Cisneros. Área y Volúmenes de los Sólidos Platónicos. Revista Científica de FAREM-Estelí: Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano, 2023, no 45, p. 171-190. ISSN: 2305-5790 doi: 10.5377/farem.v12i45.16043

[13] HUGGENBERGER, Dario Alberto. Four-layer spherical self-organized maps neural networks trained by recirculation to simulate perception and abstraction activity: application to patterns of rainfall global reanalysis. 2018. ISSN: 2229-6956 (On Line) https://ictactjournals.in/paper/IJSC_Vol_8_Iss_4_Paper_6_1733_1749.pdf doi: 10.21917 ijsc.2018.0243

[14] KATANFOROUSH, Ali; SHAHSHAHANI, Mehrdad. Distributing points on the sphere, I. Experimental Mathematics, 2003, vol. 12, no 2, p. 199-209. doi:10.1080/10586458.2003.10504492.

[15] LEE, John M. Introduction to topological manifolds. New York, NY: Springer New York, 2000.. ISSN 0072-5285 - ISBN 978-1-4419-7939-1 e-ISBN 978-1-4419-7940-7 doi 10.1007/978-1-4419-7940-7.

[16] LEE, John M. Introduction to smooth manifolds. New York, NY: Springer New York, p. 1-29. ISSN 0072-5285/ISBN 978-1-4419-9981-8- ISBN 978-1-4419-9982-5 (eBook)- -Springer New York Heidelberg Dordrecht London. © Springer Science+Business Media New York 2003, 2013 doi: 10.1007/978-1-4419-9982-5

[17] NISHIO, Hirokazu, et al. Spherical som with arbitrary number of neurons and measure of suitability. En Proceedings of WSOM. 2005. p. 323-330.

[18] REITZ, John, et al. Foundations of electromagnetic theory. American Journal of Physics, 1979, vol. 47, no 12, p. 1110-1110. ISBN-10: 0201526247 - ISBN-13: 978-0201526240, Edición: 4a. Addison Wesley Publishing Company, 1992.

[19] SAFF, Edward B.; KUIJLAARS, Amo BJ. Distributing many points on a sphere. The mathematical intelligencer, 1997, vol. 19, no 1, p. 5-11.

[20] SERWAY, Raymond A.; JEWETT, John W. Electricidad y magnetismo. McGraw-Hill, 2005.". Editorial: THOMSON. ISBN-10: 8431401869, 2000.

[21] SMALE, Steve. Mathematical problems for the next century. The mathematical intelligencer, 1998, vol. 20, no 2, p. 7-15.

[22] STEINERBERGER, Stefan. On the logarithmic energy of points on S 2. Journal d'Analyse Mathématique, 2022, vol. 148, no 1, p. 187-211.

[23] THOMSON, Joseph John. XXIV. On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1904, vol. 7, no 39, p. 237-265. doi: 10.1080/14786440409463107

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Robot traductor con IA: Sistema multilingüe con conciencia del contexto

**Balich, Néstor Adrián**
*Laboratorio de Robótica Física e IA - Centro de altos estudios en tecnología informática*
*Universidad Abierta Interamericana*
*Buenos Aires, Argentina*
*Nestor.Balich@uai.edu.ar*

**Balich, Franco Adrian**
*Laboratorio de Robótica Física e IA - Centro de altos estudios en tecnología informática*
*Universidad Abierta Interamericana*
*Buenos Aires, Argentina*
*FrancoAdrian.Balich@uai.edu.ar*

**Balich, Berenice Lourdes**
*Laboratorio de Robótica Física e IA - Centro de altos estudios en tecnología informática*
*Universidad Abierta Interamericana*
*Buenos Aires, Argentina*
*BereniceLourdes.Balich@uai.edu.ar*

**Bastien, Anne**
*Minerva University*
*San Francisco, United States*
*anne@uni.minerva.edu*

**Than, Thu**
*Minerva University*
*San Francisco, United States*
*than@uni.minerva.edu*

## Resumen

Los *rápidos avances en procesamiento de lenguaje natural e inteligencia artificial (IA) han impulsado el desarrollo de traductores automáticos. Sin embargo, la mayoría de estas soluciones son virtuales, de pago y carecen de un canal físico de interacción. Este trabajo presenta el desarrollo de "Bot AI Translator", un sistema que combina las APIs de OpenAI (Whisper y GPT-4) para una cabeza robot con expresiones con software libre. A diferencia de los traductores convencionales, el robot no solo traduce en tiempo real entre dos idiomas diferentes, sino que también permite la comunicación a través de gestos y voz, actuando como un mediador físico que facilita la interacción. Esta integración permite que la traducción adquiera una dimensión tangible y social, potenciando su aplicación en educación, intercambios culturales y entornos colaborativos.*

**Palabras Clave**
Robot traductor, inteligencia artificial, interacción humano-robot, voz a texto, texto a voz.

## Introducción

Las barreras del lenguaje siguen siendo un gran desafío global en la comunicación, Los avances recientes en IA han permitido el desarrollo de herramientas que implementan procesamiento de lenguaje natural PLN, y así utilizar estas nuevas tecnologías para enfrentar los desafíos en la comunicación.
En este artículo se presenta Bot AI Translator, un chatbot con IA integrado a una cabeza robot, diseñado para proporcionar traducción multilingüe con integración de voz a texto y de texto a voz [1], también se muestra en detalle la integración, arquitectura e implementación de la IA utilizadas para el desarrollo de la aplicación hecha en JavaScript con Node.js [2].

## Descripción del proyecto

"Bot AI Translator" es una aplicación basada en Node.js que utiliza la tecnología de OpenAI's GPT integrada a una cabeza robot, este sistema permite la traducción entre dos usuarios que hablan diferentes idiomas y una cabeza robot como mediador de la conversación [3].
La traducción funciona enviando prompts a la API de OpenAI GPT-4 lo cual genera traducciones precisas y sensibles al contexto [4].
Por ejemplo, dos usuarios pueden seleccionar su idioma, como podría ser inglés y francés respectivamente. Cuando el primer usuario dice "hello" el robot responde "bonjour" traduciéndolo al francés permitiendo así que el segundo usuario que está participando en la conversación en tiempo real pueda entender lo que quiso decir el primer usuario

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en inglés, pero ahora escuchando a la cabeza robot que traducirá lo dicho por el usuario 1 al usuario 2. El programa incluye grabación de audio que detecta el silencio para detectar cuando la persona deja de hablar, esto es fundamental ya que la traducción en tiempo real funciona activando la grabación de audio al apretar el botón "Start Recording" (ver **Figura 1**.) y después se detiene automáticamente al detectar el silencio o cuando se presiona el botón "Stop Recording". El programa también interpreta palabras clave para expresar las diferentes emociones en base al contexto de la conversación, lo cual permite detectar emociones y turnos del hablante, permitiendo asignar diferentes gestos y colores a la cabeza robot enriqueciendo la conversación.

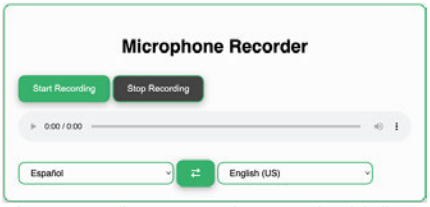



Figura 1. Esta figura muestra la perspectiva del cliente desde la interfaz de usuario.

**2.1 El proceso de voz a texto**

El usuario interactúa con el cliente (navegador) para grabarse haciendo clic en el botón "Start Recording" y en el botón "Stop recording" cuando desea detener manualmente la grabación. Antes de enviar el archivo de audio a la API Whisper, el tipo de datos blob se convierte a formato wav utilizando el método integrado de FFmpeg llamado convertAudio(). A continuación, se utiliza la API Whisper de OpenAI para transcribir el audio recién formateado a texto basándose en el idioma inicial especificado por el usuario [5] (ver **Figura. 2**)

**2.2 Integración de la API de traducción de texto a voz**

La API GPT-4 de OpenAI se utiliza para traducir la transcripción al idioma de destino. El prompt que utilizamos para la API es:
Traducir el siguiente texto a {idioma de destino}: {transcripción}.
Se inicializa un array para almacenar el historial de chat del usuario y proporcionar una conversación más contextualizada entre el usuario y el robot [6].

**2.3 Integración de la API de traducción de texto a voz**

El método para incorporar texto a voz utiliza la síntesis de voz de la API Web Speech de JavaScript [7, 8]. La API convierte el texto en voz utilizando el navegador web: El robot elige entre las voces disponibles en el navegador web del usuario en función del idioma de destino. Si el idioma de destino no está disponible, no se proporciona traducción de voz [9].

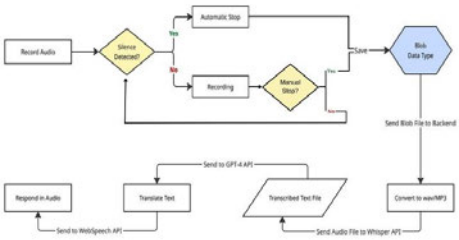



Figura 2. Visión general del algoritmo paso a paso del AI Bot Translator.

**2.4 Integración con robot real**

Este proyecto se ha integrado a una cabeza robot social con expresiones basadas en sentimientos (ver **Figura 3**) desarrollada en el laboratorio [10], permitiendo continuar la investigación en el desarrollo de interfaces hombre-máquina que permitan una interacción fluida complementada por emociones. Esto permite a estudiantes y profesores comunicarse entre sí de forma efectiva, convirtiéndolo en una valiosa herramienta de apoyo para clases y prácticas internacionales.



Figura 3. Cabeza robótica con expresiones

## Evaluación del proyecto

Evaluamos el robot traductor basándonos en tres métricas de calidad clave:

• **Precisión:** ¿La traducción transmite fielmente el significado del texto original?
• **Latencia:** ¿Con qué rapidez aparece la traducción una vez pronunciada el texto original?
• **Cobertura lingüística:** ¿Cómo gestiona el robot las traducciones en varios idiomas, incluidos los menos hablados?

**3.1 Precisión**

Para evaluar la precisión, examinamos cuatro casos de estudio con mayor posibilidad de que se produjeran errores de traducción:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**1. Trabalenguas y homófonos** (por ejemplo, Peter Piper recogió un montón de pimientos en vinagre).
**2. Jerga y modismos regionales** que pueden no tener equivalentes directos en la lengua meta.
**3. Acentos regionales**, como el español de Argentina y el francés de Canadá.
**4. Palabras con varios significados** (por ejemplo, murciélago).

Los trabalenguas compuestos por homófonos (por ejemplo, "Un ver vert va vers un verre vert" (francés) - "Un gusano verde va hacia un vaso verde") resultaron ser el reto más difícil para el robot. A pesar de tratarse de f Evaluamos el robot traductor basándonos en tres métricas de calidad clave:

• **Precisión:** ¿La traducción transmite fielmente el significado del texto original?
• **Latencia:** ¿Con qué rapidez aparece la traducción una vez pronunciado el texto original?
• **Cobertura lingüística:** ¿Cómo gestiona el robot las traducciones en varios idiomas, incluidos los menos hablados?
• **Interacción hombre-maquina:** ¿Cómo la implementación del robot social mejora la comunicación?

**3.1 Precisión**
Para evaluar la precisión, examinamos cuatro situaciones complicadas en las que era más probable que se produjeran errores de traducción:

1. **Trabalenguas y homófonos** (por ejemplo, Peter Piper picked a peck of pickled pepper).
2. **Jerga y modismos** regionales que pueden no tener equivalentes directos en la lengua meta.
3. **Acentos regionales**, como el español de Argentina y el francés de Canadá.
4. **Palabras con varios significados** (por ejemplo, bat).

Los trabalenguas compuestos por homófonos (por ejemplo, "Un ver vert va vers un verre vert" (francés) - "Un gusano verde va hacia un vaso verde") resultaron ser el reto más difícil para el robot. A pesar de tratarse de frases comunes, el robot generó a menudo traducciones como "un ver ver".

El robot funcionó bien cuando se le sometió a pruebas rigurosas con jerga regional, modismos y acentos del español de Argentina y el francés de Canadá. Cuando no existían equivalentes directos, ofrecía siempre la interpretación más aproximada posible.
Para mitigar los errores de traducción de palabras con múltiples significados, mejoramos nuestro diseño original proporcionando a la API de GPT-4 no sólo la solicitud de traducción, sino también el historial del chat [11]. Este contexto adicional mejoró significativamente la capacidad del robot para seleccionar la traducción correcta en caso de ambigüedad.

El robot fue probado por diversos usuarios que dominaban los siguientes idiomas: español (fluido), inglés (fluido), francés (fluido), vietnamita (fluido), mandarín (fluido) y coreano (conversacional).

**3.2 Latencia**

El robot necesitó aproximadamente entre 3 y 5 segundos para generar un enunciado traducido a partir de una entrada oral inicial de entre 1 y 3 frases. El proceso de conversión de texto a voz fue el principal responsable de este retraso.

**3.3 Cobertura lingüística**

La cobertura lingüística dependía del navegador. Mientras que la API GPT-4 de OpenAI era capaz de traducir a cualquier idioma bien documentado, la API Web Speech utilizada para la conversión de texto a voz dependía de las voces disponibles en el navegador web del usuario. Google Chrome admitía voces para dieciséis idiomas diferentes, mientras que navegadores como Arc no eran compatibles.

**3.4 Interacción hombre-maquina**
Durante las conversaciones mantenidas entre alumnos con diferentes idiomas se observaron los siguientes aspectos en la interacción:
• Las expresiones del robot complementaban la conversación fortaleciendo la comunicación, haciendo que el mediador no solo traduzca de manera verbal sino también gestual.
• Las expresiones proporcionadas por el robot al interpretar las emociones de los hablantes, proporcionaba un entorno social amigable y divertido favoreciendo una comunicación empática entre personas con diferentes idiomas y culturas.
• El robot permitía reconocer fallas en cuanto a las interpretaciones emocionales de los hablantes. El hablante obtenía una realimentación directa de la traducción en forma de gestos con un significado común para los hablantes (afirmación, negación, error, felicidad, enojo, etc).

## Conclusión

En este artículo hemos presentado Bot AI Translator, que aprovecha las API de OpenAI (Whisper y GPT-4) y la API Web Speech para la traducción multilingüe con capacidades de voz a texto y de texto a voz. Nuestras evaluaciones demostraron que, en general, la aplicación funcionaba bien en varios idiomas, sobre todo con traducciones sensibles al contexto (por ejemplo, el historial de chat) que captaban con precisión los significados incluso en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



contextos difíciles, como modismos y acentos regionales. La utilización del robot mejoro significativamente la comunicación ofreciendo una interacción más empática, el interés y motivación de los alumnos, estableciendo una diferencia significativa entre los chatbots tradicionales y Bot AI Translator y fue utilizada como mediador educativos en las pasantías internacionales del laboratorio de robótica física e inteligencia artificial (LRFIA) de la universidad abierta interamericana (UAI) facilitando la comunicación, incentivando y motivando a los alumnos a realizar investigaciones y aprender el material de catedra empleado para la construcción del robot y el desarrollo del software.

Aunque esta aplicación muestra capacidades prometedoras, persisten varias limitaciones, especialmente en cuanto a la latencia de la traducción. Para futuras investigaciones seleccionamos las siguientes líneas de trabajo:

1.Desarrollar una aplicación independiente del navegador para ampliar la cobertura lingüística y el uso en distintos navegadores, no sólo Chrome.
2. Mejorar la latencia, tratando de alcanzar el estándar de conversación en tiempo real.
3. Generar nuestro propio modelo de IA local.
4. Generar una interacción más fluida con el robot.

## Referencias

1. Seamless Communication et al.: SeamlessM4T: Massively Multilingual & Multimodal Machine Translation (2023). https://arxiv.org/abs/2308.11596
2. Your Team in India: Real-Time Language Translation in Node.js with OpenAI. Blog post (2023). https://www.yourteaminindia.com/tech-insights/real-time-language-translation-in-node.js-with-openai
3. Rajendran, M.: Building a Real-Time Translation App with Node.js, Express, and Angular using OpenAI API. Medium (2024). https://medium.com/@rajendranmadhu/building-a-real-time-translationapp-with-node-js-express-and-angular-using-openai-api-9f419b4e1f92
4. OpenAI: Introducing the Realtime API. OpenAI Blog (2024). https://openai.com/index/introducing-the-realtime-api/
5. DigitalOcean: Real-Time Audio Translation Using OpenAI API on Open WebUI. Tutorial (2024). https://www.digitalocean.com/community/tutorials/realtime-audiotranslation-using-openai-api-on-open-webui
6. Meta AI: Meta AI creates speech-to-speech translator that works in dozens of languages. Nature News (2025). https://www.nature.com/articles/d41586-02500045-y
7. Blog Kodezi: OpenAI NPM: Integración de la API de OpenAI con Node.js. Blog post (2024). https://blog.kodezi.com/open-ai-npm-integrating-open-ai-apiwith-node-js
8. Boostlingo: AI Live Speech Translation & Captioning Services. Website (2024). https://boostlingo.com/solutions/ai-speech-translation
9. Microsoft Azure: Azure AI Speech. Website (2024). https://azure.microsoft.com/en-us/products/ai-services/ai-speech
10. Balich, N., Bekbolatkyzy, A., Dridi, N.: Diseño y creación de una cabeza robot social IoT. In: 30° Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2024). UNLP, Argentina (2024). https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/176744
11. OpenAI: Real-Time API - OpenAI API. Documentation (2024). https://platform.openai.com/docs/guides/realtime

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aplicación de Modelos de Lenguaje de Gran Escala para el Análisis de Expedientes Judiciales Penales

*Julio Bossero, Osvaldo Spositto, Viviana Ledesma, Laura Conti, Sergio García, Gerardo Frega*
*Universidad Nacional de La Matanza. Departamento de ingeniería e Investigación Tecnológicas. Florencio Varela 1903. San Justo. La Matanza. Buenos Aires. Argentina.*
*{jbossero, spositto, vledesma, lconti, segarcia, gfrega}@unlam.edu.ar*

## Resumen

*En Argentina, mucho del análisis de expedientes judiciales penales se realiza de forma manual, lo que genera sobrecarga e ineficiencia en decisiones críticas como las solicitudes de libertad condicional. Este trabajo presenta una metodología basada en Modelos de Lenguaje de Gran Escala para la extracción automatizada de variables jurídicas en textos no estructurados.*

*Se empleó un corpus real y anonimizado de 2.593 expedientes, aplicando limpieza textual, normalización y técnicas de PLN. Los resultados, validados frente a anotaciones de expertos, superaron el 80 % en precisión, recall y F1-score en la identificación de variables como tipo de delito, reincidencia y fechas procesales.*

*Este enfoque provee herramientas analíticas que promueven eficiencia y transparencia, sienta bases para la generación de expedientes sintéticos y su aplicación en otros fueros, y contribuye al desarrollo de un marco ético y normativo para el uso de inteligencia artificial en el ámbito judicial argentino.*

## 1. Introducción

En el año 2020, la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM), a través de investigadores de los departamentos de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas y de Derecho y Ciencias Políticas, en conjunto con el Juzgado de Ejecución Nº 2 del Departamento Judicial de Morón, presentó el proyecto PROINCE C236/PII: "Diseño e Implementación de un Sistema Experto como Apoyo al Proceso de Despacho de Trámites de un Organismo Judicial". Como parte de esta iniciativa se desarrolló el prototipo Experticia [1–5], un sistema orientado a sistematizar y optimizar procesos judiciales que aún se realizaban de forma manual o semiautomática en el Poder Judicial de la Provincia de Buenos Aires. Ese mismo año, la relevancia del proyecto motivó la firma de un convenio de colaboración con la Suprema Corte de Justicia de la Provincia de Buenos Aires (SCBA). El trabajo ha sido netamente interdisciplinario, con la participación de investigadores, especialistas jurídicos provinciales y técnicos de la SCBA.

Este enfoque provee herramientas analíticas que promueven eficiencia y transparencia, sienta bases para la generación de expedientes sintéticos y su aplicación en otros fueros, y contribuye al desarrollo de un marco ético y normativo para el uso de inteligencia artificial en el ámbito judicial argentino.

En este marco, se accedió a un corpus de 2.593 expedientes judiciales reales del fuero penal, relacionados con incidentes de libertad condicional (LC) y debidamente anonimizados. Estos documentos constituyen un insumo valioso tanto por su volumen como por su autenticidad, y ofrecen la posibilidad de explorar enfoques computacionales aplicados al derecho penal empírico.

El interés central de esta investigación se orienta a analizar dichos documentos mediante técnicas avanzadas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), con el fin de identificar y extraer variables relevantes que suelen encontrarse dispersas o implícitas en los textos jurídicos. En esta línea de investigación, cada vez más presente dentro del PLN, los Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) se plantean como una alternativa prometedora, dado que podrían manejar la ambigüedad inherente del lenguaje legal y extraer información compleja que las técnicas basadas en reglas, como las expresiones regulares, no siempre capturan eficientemente [6–8].

En particular, la decisión de conceder LC involucra factores legales, conductuales y contextuales, donde los LLM podrían constituir herramientas útiles para explorar patrones, extraer variables clave y, eventualmente, generar expedientes sintéticos representativos, preservando la confidencialidad de datos sensibles [9–12].

La incorporación de Inteligencia Artificial (IA) en este tipo de tareas —mediante LLM aplicados sobre un corpus — se concibe como una innovación con potencial impacto en la administración de justicia, especialmente en trámites complejos como la LC. Desde una perspectiva tecnológica, se propone un enfoque que podría permitir la extracción automatizada de atributos y etiquetas, así como la generación de documentos sintéticos para la construcción de conjuntos de datos más voluminosos que faciliten el entrenamiento de modelos supervisados y la minería de datos. Operativamente, la idea es que este tipo de herramientas podría brindar a los juzgados un apoyo que agilice, estandarice y transparente el despacho de solicitudes de LC, complementando —y no reemplazando— la intervención humana. De este modo, el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



trabajo se inscribe en el cruce entre IA, derecho y políticas públicas, proponiendo una metodología adaptable a otros fueros y jurisdicciones.

La literatura previa ha señalado el potencial de los algoritmos de aprendizaje automático para mejorar la toma de decisiones judiciales, tradicionalmente expuesta a sesgos e ineficiencias. Por ejemplo, el estudio de Kleinberg et al. [13] muestra cómo estos algoritmos pueden complementar el juicio humano y optimizar la administración de justicia. Asimismo, investigaciones como la de Zheng [14] subrayan el valor de modelos especializados en lenguaje jurídico —como Legal-BERT [15] y CaseLaw-BERT [16]— para la extracción más precisa de información, la reducción de errores y la promoción de mayor uniformidad en el análisis legal. En este contexto, la capacidad de aprendizaje con pocos ejemplos (few-shot learning) que ofrecen modelos avanzados como GPT-4 [17] resulta de especial interés, ya que permite abordar tareas complejas incluso cuando se dispone de cantidades limitadas de datos anotados [18], una situación frecuente en el ámbito judicial.

El alcance de este estudio se centra en los 2.593 expedientes del fuero de ejecución penal de Morón, con el propósito de explorar cómo los LLM preentrenados y adaptados al dominio legal podrían contribuir a la identificación de variables útiles para construir un conjunto de datos estructurado que habilite, en etapas posteriores, el entrenamiento de modelos supervisados para tareas de predicción y clasificación jurídica. En este marco, se plantean los siguientes objetivos específicos: (1) identificar variables claves potencialmente útiles para clasificación o predicción, (2) diseñar un proceso automatizado con LLM para la extracción preliminar de dichas variables, y (3) evaluar la factibilidad y precisión inicial de los resultados frente a anotaciones manuales realizadas por expertos. En una fase posterior del proyecto, se buscará avanzar hacia la definición de una variable de clase que represente la decisión judicial sobre la concesión de la LC, lo que permitiría entrenar modelos predictivos en un marco más amplio.

## 2. Trabajos Relacionados

Diversos trabajos han abordado la automatización de la extracción de variables jurídicas mediante modelos de lenguaje. Destaca el trabajo de Chalkidis et al. [15], creadores de LEGAL-BERT, una familia de modelos adaptados al dominio legal. Evalúan tres estrategias de entrenamiento (sin adaptación, con preentrenamiento adicional y desde cero) sobre múltiples sets de datos, evidenciando que la adaptación estándar no siempre generaliza bien. Además, subrayan la importancia del ajuste de hiperparámetros y aportan una guía metodológica útil para adaptar modelos al ámbito jurídico.

En un enfoque más panorámico, Zhong et al. [19] proponen una taxonomía de tareas jurídicas abordables con PLN —como extracción de información, predicción legal y resúmenes automáticos— y analizan diferencias metodológicas entre juristas y científicos de datos. También abordan aplicaciones prácticas (preguntas y respuestas, análisis contractual, detección de hechos) y desafíos persistentes como la escasez de datos anotados, la ambigüedad jurídica y la necesidad de interpretabilidad.

Más allá de los LLM, otros enfoques han aplicado técnicas clásicas de PLN y aprendizaje supervisado. Aletras et al. [20] extraen características textuales de fallos del Tribunal Europeo de Derechos Humanos, combinadas con metadatos, para predecir decisiones judiciales. Katz et al. [21] logran alta precisión al predecir decisiones de la Corte Suprema de EE. UU. mediante variables estructuradas. Por su parte, Luo et al. [22] presentan un modelo basado en descripciones textuales de casos penales, al que incorporan fundamentos legales como guía. Este enfoque mejora la precisión de la predicción de cargos al integrar tanto el lenguaje del caso como el marco jurídico aplicable.

En el ámbito hispanohablante, Parra y Concha [23] destacan la necesidad de adaptar el derecho a los desafíos de la inteligencia artificial, lo que implica estructurar la información legal para su interpretación automatizada. Cotino Hueso [24], desde una perspectiva institucional, examina oportunidades, riesgos y marcos de gobernanza para el uso de IA generativa en el sector público, aportando una visión normativa aplicable también al ámbito judicial.

Finalmente, trabajos en otros dominios ofrecen metodologías transferibles al derecho. Beltagy et al. [25] demuestran con SciBERT que entrenar modelos sobre corpus especializados mejora notablemente el rendimiento. Hendrycks et al. [26] abordan la alineación ética de los modelos, un desafío relevante para el uso judicial de la IA. Huang et al. [27] proponen la estructura PICO en medicina como modelo de extracción de conocimiento; su lógica resulta aplicable a documentos jurídicos para identificar sujetos, hechos, normas y decisiones.

## 3. Método

Esta investigación se inscribe en el campo del derecho penal empírico, adoptando un enfoque computacional orientado al análisis automatizado de resoluciones judiciales vinculadas a incidentes de LC. El corpus analizado estuvo compuesto por 2.593 resoluciones judiciales anonimizadas, provistas por el Juzgado de Ejecución Nº 2 del Departamento Judicial de Morón, seleccionadas por su relevancia temática, completitud estructural y potencial analítico.

Para su procesamiento, se implementó un flujo de trabajo (pipeline) automatizado de preprocesamiento textual, entendido aquí como una secuencia de pasos encadenados que transforman los documentos originales en datos estructurados listos para su análisis. Este flujo de trabajo fue desarrollado en el entorno colaborativo Google

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Colab[1], lo que facilitó la integración con Google Drive y el uso de bibliotecas de PLN. El flujo incluyó tareas de limpieza, segmentación y anonimización de los expedientes, ejecutadas de manera sistemática y reproducible a través de código en Python. De esta manera, cada documento pasó de ser un texto judicial extenso y no estructurado a un formato más homogéneo, adecuado para posteriores etapas de análisis automático. Este flujo de trabajo incluyó:

- **Limpieza textual sistemática** mediante expresiones regulares, orientada a eliminar elementos no jurídicos como encabezados administrativos, firmas, sellos, fechas y metadatos institucionales.
- **Tokenización y segmentación retórica** con *nltk*, que permitió descomponer los textos en unidades lingüísticas significativas (tokens y oraciones), facilitando su análisis estructural y semántico posterior.
- **Anonimización automatizada** mediante prompts diseñados en un LLM (ej. ChatGPT), que reemplazaron nombres propios, fechas sensibles y números de expediente por marcadores genéricos, garantizando la preservación del contenido jurídico y el cumplimiento de principios éticos y legales de confidencialidad.

A partir de este corpus depurado, y con la colaboración de abogados del Juzgado de Ejecución, se realizó un análisis cualitativo exploratorio para identificar variables jurídicas clave, seleccionadas en función de su frecuencia de aparición, valor normativo y potencial explicativo en el contexto de decisiones sobre LC. Estas variables fueron luego normalizadas, tipificadas y codificadas de manera preliminar, con el objetivo de facilitar su utilización en tareas de extracción automatizada, análisis estadístico y, en etapas posteriores, entrenamiento de modelos de aprendizaje supervisado.

Este enfoque metodológico, concebido como una primera prueba piloto, permitió estructurar información crítica contenida en los expedientes y sienta las bases para la generación de set de datos jurídicos estructurados, la creación de expedientes sintéticos y el desarrollo futuro de modelos predictivos orientados a la toma de decisiones judiciales más eficientes, objetivas y transparentes.

## 4. Desarrollo y Resultados

La selección se realizó en función de su pertinencia temática y de la integridad estructural de los fallos, asegurando que cada documento contuviera las secciones jurídicas necesarias para su análisis. Todos los expedientes se encontraban en formato texto plano (.txt), lo que facilitó su procesamiento.

### 4.1 Selección y Preparación del Corpus

Con el objetivo de garantizar la consistencia y calidad del corpus, se implementó un procedimiento automatizado de limpieza y preparación textual en Python, apoyado en bibliotecas de PLN. La selección de estas herramientas no fue arbitraria: se basó en la revisión de literatura especializada y en su comprobada eficacia en estudios previos de análisis textual en contextos jurídicos y administrativos. En particular, se eligieron aquellas que ofrecieran un equilibrio entre precisión técnica, facilidad de implementación y adaptabilidad a distintos estilos discursivos.

Como parte del enfoque metodológico, se definió un *prompt* computacional orientado a la limpieza sistemática de los expedientes. En este contexto, el término refiere a un conjunto de instrucciones explícitas utilizadas para interactuar con modelos de IA generativa, con el propósito de guiar su comportamiento y obtener respuestas útiles, precisas o creativas según el objetivo planteado [28]. La formulación respondió a criterios técnicos y a recomendaciones presentes en la literatura especializada, lo que permitió estructurar una secuencia de operaciones reproducibles y adaptadas a las particularidades del lenguaje jurídico. El proceso fue implementado en Google Colab, en virtud de su carácter gratuito, accesible desde cualquier entorno con conexión a internet y, por su integración con Google Drive, facilitó el manejo de grandes volúmenes de documentos digitales. Asimismo, su compatibilidad con bibliotecas de PLN en Python aseguró la posibilidad de emplear herramientas de código abierto de amplia aceptación en la comunidad científica [29].

El script central fue desarrollado en Python y se apoyó en dos componentes principales:

- **re**[2]: esta biblioteca de expresiones regulares se utilizó para identificar y eliminar patrones textuales frecuentes en los documentos judiciales, tales como encabezados administrativos, firmas, sellos, fechas y metadatos institucionales. La fortaleza de esta herramienta radica en su capacidad para establecer reglas precisas, replicables y adaptables a variaciones estilísticas presentes en el lenguaje jurídico. En lugar de depender de un filtrado manual, la utilización de expresiones regulares permitió asegurar un proceso reproducible y eficiente, capaz de procesar cientos de documentos en cuestión de minutos.
- **nltk**[3]: el *Natural Language Toolkit* fue empleado para la **tokenización de oraciones**, esto es, la

[1] https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb
[2] https://docs.python.org/3/library/re.html
[3] https://www.nltk.org/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



segmentación del texto en unidades lingüísticas significativas llamadas *tokens*. Esta técnica no solo facilita el análisis estructural y temático posterior, sino que además resulta esencial para la aplicación de algoritmos de segmentación retórica y extracción de variables. Al trabajar con oraciones completas como unidades semánticas, se logra preservar la coherencia discursiva y reducir el riesgo de pérdida de información contextual.

El prompt diseñado no se limitó a una simple limpieza superficial, sino que fue concebido para recorrer automáticamente el conjunto completo de documentos, aplicar reglas de depuración cuidadosamente definidas y generar una versión estandarizada y utilizable de cada expediente. Gracias a este proceso, fue posible eliminar de manera consistente el ruido textual (sellos, membretes, repeticiones administrativas), al mismo tiempo que se preservó el contenido jurídicamente relevante para las etapas subsiguientes del trabajo: segmentación retórica, extracción de variables y análisis con modelos de lenguaje.

Un componente clave de esta fase metodológica fue la anonimización sistemática del corpus. Dado que los documentos contenían información personal de justiciables, profesionales intervinientes y agentes judiciales, se diseñó un procedimiento orientado a proteger la identidad de las personas involucradas, cumpliendo con principios éticos y legales de confidencialidad. Para ello, se utilizó un prompt específico en ChatGPT, entrenado para identificar y reemplazar automáticamente nombres propios, fechas sensibles y números de expediente mediante el uso de marcadores genéricos (por ejemplo, NOMBRE_XXXX, FECHA_XXXX, CAUSA_XXXX).

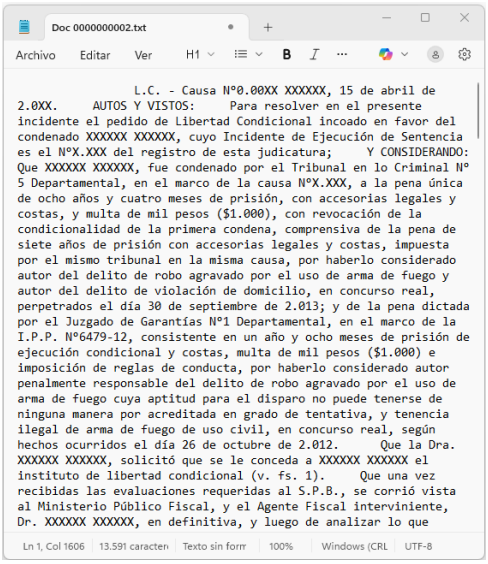



Figura 1. Expediente judicial anonimizado.

A diferencia de las expresiones regulares, que se limitan a reconocer patrones explícitos previamente definidos, el uso de un modelo de lenguaje permitió detectar expresiones heterogéneas y contextuales, como menciones indirectas a personas o fechas escritas en formatos no estandarizados. Este enfoque resultó especialmente útil en textos jurídicos, caracterizados por una gran variabilidad redaccional y por la presencia de fórmulas que no siempre son fácilmente formalizables en reglas fijas.

Este paso resultó fundamental porque permitió mantener la estructura jurídica intacta (ejemplo: relaciones entre partes, actos procesales, resoluciones), pero sin conservar información que pudiera vulnerar la privacidad de los actores procesales. Así, se preservó la validez científica de los documentos para el análisis automático, al tiempo que se garantizó la protección de datos sensibles.

La Figura 1 muestra un ejemplo de expediente judicial tras el proceso de anonimización, donde es posible observar cómo se conserva el contenido legal relevante (artículos citados, fundamentos de decisiones, argumentos procesales) mientras que la información identificatoria se encuentra sustituida por marcadores genéricos.

Este enfoque no solo automatizó una tarea que tradicionalmente se realiza de forma manual y con gran demanda de recursos humanos, sino que además redujo de manera significativa los tiempos de procesamiento y garantizó una anonimización homogénea y consistente en los 2.593 documentos del corpus. A partir de este procedimiento, fue posible disponer de un conjunto de datos depurado, éticamente validado y metodológicamente sólido, apto para su análisis mediante técnicas de PLN y modelos de lenguaje.

Con el fin de ilustrar la implementación práctica de esta etapa metodológica, a continuación, se presenta un fragmento de código en Python, ejecutado en el entorno colaborativo Google Colab. Este ejemplo muestra los pasos esenciales del flujo de trabajo: lectura de un expediente en formato texto plano, limpieza mediante expresiones regulares, anonimización de entidades sensibles y segmentación en oraciones utilizando *nltk*.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



```
# Instalación de dependencias
!pip install nltk
import re
import nltk
nltk.download("punkt")
# Lectura de un expediente de ejemplo
with open("Doc_0000000001.txt", "r",
encoding="utf-8") as f:
    texto = f.read()
# Limpieza y anonimización
texto_limpio = re.sub(r"(Causa
nro\.?\s*\d+)", "CAUSA_XXXX", texto,
flags=re.IGNORECASE)
texto_limpio =
re.sub(r"\d{1,2}\s+de\s+[A-Za-
zÁÉÍÓÚáéíóú]+\s+de\s+\d{4}",
"FECHA_XXXX", texto_limpio)
texto_limpio =
re.sub(r"\d{1,2}/\d{1,2}/\d{2,4}",
"FECHA_XXXX", texto_limpio)
texto_anon   = re.sub(r"\b[A-
ZÁÉÍÓÚÑ]{2,}(?:\s+[A-ZÁÉÍÓÚÑ]{2,})+\b",
"NOMBRE_XXXX", texto_limpio)
# Tokenización de oraciones
from nltk.tokenize import sent_tokenize
oraciones = sent_tokenize(texto_anon,
language="spanish")
# Vista previa
print("=== Texto anonimizado ===")
print(texto_anon[:500], "...\n")
```

### 4.2 Extracción y Definición de Variables

A partir del análisis exploratorio y estructural del corpus, se procedió a la identificación, selección y definición de un conjunto de variables de relevancia jurídica y analítica, esenciales para caracterizar los casos en estudio. Dichas variables fueron escogidas en función de tres criterios centrales: (i) su frecuencia de aparición en los expedientes, lo cual garantiza su representatividad dentro del conjunto de datos; (ii) su relevancia normativa, al estar directamente vinculadas con normas, procedimientos o criterios de decisión judicial; y (iii) su utilidad analítica, entendida como la capacidad de cada variable para aportar información diferenciadora en tareas de minería de texto, clasificación automática o predicción de resultados.

Una vez identificadas, las variables fueron sometidas a un proceso de normalización y tipificación, con el propósito de adaptarlas al tratamiento computacional y facilitar su integración en procesos posteriores de extracción automatizada, análisis estadístico y entrenamiento de modelos de aprendizaje supervisado. Esta estandarización fue clave para evitar redundancias semánticas y asegurar la interoperabilidad de los datos, garantizando que los mismos conceptos fueran representados de manera uniforme a lo largo de los expedientes procesados.

El enfoque seguido en esta investigación se encuentra en línea con desarrollos previos en el campo del PLN aplicado al derecho. Por ejemplo, Aletras et al. [20] demostraron que la estructuración de variables a partir de sentencias judiciales permite predecir con alta precisión las decisiones de tribunales europeos, lo que subraya el valor práctico de contar con atributos bien definidos. De manera similar, Luo et al. [22] incorporaron variables legales explícitas en sus experimentos de clasificación de cargos penales, logrando mejoras sustanciales en los resultados frente a aproximaciones puramente textuales. Más recientemente, Zhong et al. [30] y Chalkidis et al. [13] han destacado que la definición previa de atributos jurídicos relevantes constituye un paso indispensable para la construcción de modelos de lenguaje especializados, pues permite focalizar el análisis en información significativa desde el punto de vista normativo y reducir el sesgo derivado de información accesoria o redundante.

En este trabajo, el proceso de extracción de variables se desarrolló en dos fases complementarias:

1. Análisis cualitativo inicial: se trabajó con una muestra representativa del corpus, lo que permitió identificar patrones lingüísticos recurrentes y estructuras retóricas comunes en los fallos. Este examen preliminar fue fundamental para reconocer tanto las expresiones normalizadas (por ejemplo, “fecha de condena”, “artículo del Código Penal aplicado”) como aquellas que aparecen de forma más heterogénea en los expedientes (p. ej. descripciones del entorno familiar o referencias a la conducta intramuros).
2. Diseño de reglas de extracción y esquemas de codificación: a partir de los hallazgos del análisis cualitativo, se construyó un conjunto de reglas de extracción y un esquema de codificación estandarizado que permitió sistematizar la información contenida en los textos. Este esquema fue diseñado de manera jerárquica, distinguiendo entre variables de tipo estructural (fechas, delitos imputados, duración de la condena) y variables de tipo contextual o interpretativo (comportamiento intramuros, vínculos familiares, informes de peritos).

En este trabajo se identificaron diversas variables, cuya organización sistemática permite evidenciar la diversidad de información contenida en los documentos judiciales. Esta estructuración no solo permite una automatización más precisa de la identificación de elementos jurídicos, sino que también ofrece un marco para delimitar aquellas variables cuya complejidad semántica todavía requiere interpretación humana especializada. En este sentido, el uso de LLM representa un complemento valioso para asistir en la detección de patrones menos evidentes, aunque siempre bajo la supervisión de expertos jurídicos.

En consecuencia, el procedimiento aquí descrito no debe entenderse únicamente como un ejercicio de clasificación técnica, sino como un paso metodológico clave para articular el trabajo interdisciplinario entre derecho y ciencia de datos. La definición clara y consensuada de variables posibilita, por un lado, que los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



modelos computacionales trabajen sobre bases sólidas y replicables, y, por otro, que los expertos jurídicos conserven la capacidad de intervenir en aquellos aspectos en los que la interpretación normativa o contextual no puede ser plenamente sustituida por un algoritmo.

Para demostrar el procedimiento, a continuación, se presenta un breve ejemplo de código en Python. Este fragmento ilustra la implementación de un esquema de extracción de variables basado en reglas, diseñado para procesar un documento de texto no estructurado. El código utiliza bibliotecas estándar de Python para simular la fase de extracción y tipificación de datos, una vez que el análisis cualitativo ha permitido definir las variables y sus patrones de aparición.

```
import re
# Definición del esquema de variables y
las reglas de extracción
# Se asocian las variables a expresiones
regulares para su búsqueda en el texto
esquema_variables = { "fecha_sentencia":
r"\d{2}/\d{2}/\d{4}",  "delito_imputado":
r"(delito
de|robo|homicidio|lesiones|fraude)",
    "condena_meses": r"condena de (\d+)
meses",
    "comportamiento_intramuros": r"(buena
conducta|conducta ejemplar|sin
sanciones)"}

# Simulación de un fragmento de
expediente judicial
expediente_texto = "En fecha 25/07/2023,
la Corte emitió una sentencia firme.
Se imputa el delito de robo agravado y se
impone una condena de 48 meses. El
informe de conducta intramuros indica
buena conducta."

def extraer_variables(texto, esquema):
    " Función que extrae variables de un
texto basándose en un esquema de reglas.
    Args:
        texto (str): El texto del
expediente a procesar.
        esquema (dict): Un diccionario
que asocia nombres de variables a
expresiones regulares.
    Returns:
        dict: Un diccionario con las
variables extraídas y sus valores"
    variables_extraidas = {}
    for variable, patron in
esquema.items():
        match = re.search(patron, texto,
re.IGNORECASE)
        if match:
            # Si la expresión regular
tiene grupos de captura, se extrae el
valor
            if match.groups():

variables_extraidas[variable] =
match.group(1)
            else:

variables_extraidas[variable] =
match.group(0)
    return variables_extraidas

# Ejecución del pipeline de extracción
variables =
extraer_variables(expediente_texto,
esquema_variables)

# Impresión de los resultados
for variable, valor in variables.items():
    print(f"{variable.replace('_', '
').capitalize()}: {valor}")
```

La Tabla 1 presenta una síntesis de las principales variables identificadas, evidenciando la posibilidad de estructurar de forma sistemática información crítica contenida en los expedientes judiciales. Esta estructuración no solo facilita la identificación de elementos jurídicos susceptibles de análisis automatizado, sino que también permite distinguir aquellas variables que, por su complejidad semántica, aún requieren interpretación humana, como el “entorno familiar” o la “conducta intramuros”.

**Tabla 1.** Variables extraídas del análisis automatizado de expedientes judiciales.

| Variable | Descripción | Tipo de dato |
|---|---|---|
| id_expediente | Identificador del incidente de ejecución | Texto |
| Sexo | Género del condenado/a | Categórico |
| fecha_sentencia | Fecha de la sentencia condenatoria | Fecha |
| sanciones_disciplinarias | Cantidad de sanciones previas | Numérica |
| Reincidencia | Indica si el condenado es reincidente | Booleano |
| Delito | Descripción legal del delito | Texto |
| fecha_hecho | Fecha del hecho delictivo | Fecha |
| art_13_CP_aplicable | Cumple requisitos del art. 13 CP | Booleano |
| art_14_CP_aplicable | Cumple requisitos del art. 14 CP | Booleano |
| art_17_CP_aplicable | Cumple requisitos del art. 17 CP | Booleano |
| fecha_excarcelacion | Fecha de excarcelación (si aplica) | Fecha |
| Socioambiental | Informe socioambiental vigente | Booleano |
| Tipo_alojamiento | Tipo de establecimiento donde esta | Categórico |

Por su parte, la Tabla 2 resume la distribución de los tipos de datos asociados a las variables extraídas. Se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



observan atributos con tipo de dato booleano, fecha, categórico y texto, lo que facilita su integración en modelos de aprendizaje supervisado orientados a tareas de clasificación, predicción o minería de datos. Esta tipificación también permite aplicar técnicas de análisis exploratorio, visualización de patrones y generación de expedientes sintéticos, como se propone en trabajos recientes sobre justicia predictiva [12, 31].

**Tabla 2.** Distribución de tipos de datos en las variables extraídas.

| Tipo de dato | Cantidad |
|---|---|
| Booleano | 5 |
| Fecha | 3 |
| Categórico | 2 |
| Texto | 2 |

## 5. Resultados y Conclusiones

Este trabajo demuestra la viabilidad de aplicar LLM al análisis automatizado de expedientes judiciales penales, especialmente en casos de solicitudes de LC. Se organizó y anonimizó un corpus de 2.593 expedientes, preservando la confidencialidad de los involucrados mediante técnicas de limpieza textual, anonimización sistemática y PLN.

La metodología desarrollada permitió extraer con alta precisión variables clave a partir de textos jurídicos no estructurados. Para validar el desempeño del sistema, se analizaron dos expedientes reales y se extrajeron automáticamente variables como tipo de delito, reincidencia, fecha de sentencia, artículos del código penal aplicables y condiciones socioambientales.

Para la evaluación del desempeño, se adoptaron métricas estándar en PLN, ampliamente utilizadas en investigaciones recientes aplicadas al ámbito jurídico y social. En particular, estudios como los de Figueroa Guevara [32], sobre automatización del procesamiento de requerimientos de la Ley de Transparencia en Chile, Téllez Torres [33], en la detección de similitud textual en descripciones faciales, y Rodríguez [34], en la identificación de noticias falsas en redes sociales, han empleado *precisión*, *recall* y *F1-score* como indicadores centrales de calidad. Estas métricas permiten cuantificar de manera equilibrada tanto la exactitud de los resultados (precisión) como la cobertura de la información recuperada (recall), y su balance armónico (F1).

Para evaluar el rendimiento de los modelos de clasificación en tareas de PLN, es fundamental establecer métricas que permitan comparar las predicciones generadas por el sistema con los resultados esperados. Este proceso se basa en la construcción de una matriz de confusión, que clasifica las salidas del modelo en cuatro categorías:

- *Verdaderos positivos (TP)*: instancias correctamente clasificadas como positivas.
- *Falsos positivos (FP):* instancias incorrectamente clasificadas como positivas.
- *Verdaderos negativos (TN)*: instancias correctamente clasificadas como negativas.
- *Falsos negativos (FN):* instancias positivas que el modelo no logró identificar.

A partir de estas categorías, se derivan tres métricas fundamentales:

- *Precisión:* mide cuántas de las predicciones positivas fueron realmente correctas.

$$Precisión = \frac{TP}{TP + FP} \quad \textbf{(1)}$$

- *Recall:* indica cuántas de las instancias positivas reales fueron correctamente identificadas.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad \textbf{(2)}$$

- *F1-score:* representa el balance entre precisión y recall.

$$F1\text{-}score = 2 \cdot \frac{Precisión \cdot Recall}{Precisión + Recall} \quad \textbf{(3)}$$

En una muestra previamente anotada por expertos jurídicos, el modelo logró una precisión promedio del 84,2 %, un recall del 82,7 % y un F1-score del 83,4 %. Estos resultados evidencian su capacidad para identificar atributos jurídicos relevantes de manera confiable. Las métricas fueron calculadas conforme a estándares reconocidos en el ámbito del procesamiento de lenguaje natural (PLN), reflejando un adecuado equilibrio entre exactitud y cobertura en la tarea de extracción de información [35].

La construcción de este conjunto de datos estructurado representa un avance significativo, ya que no solo constituye un insumo valioso para el desarrollo de estadísticas judiciales y análisis exploratorios sobre patrones en la toma de decisiones, sino que también habilita la generación de expedientes sintéticos. Estos documentos artificiales, construidos a partir de las variables extraídas, permitirán ampliar el volumen de datos disponibles para entrenar modelos supervisados, mejorando su rendimiento y capacidad de generalización en contextos reales.

En esta etapa, el trabajo debe entenderse como una experimentación inicial y exploratoria, orientada a probar la factibilidad técnica de aplicar modelos de lenguaje en el ámbito judicial. Lejos de plantear resultados concluyentes, lo desarrollado constituye un prototipo metodológico que abre la posibilidad de replicar y escalar estas técnicas en futuros estudios.

En esa misma línea, se sientan las bases para una etapa posterior del proyecto, en la que se buscará identificar y definir una variable de clase — como la concesión o denegación de la LC — que permita entrenar modelos capaces de predecir decisiones judiciales a partir de las variables estructuradas. También se propone profundizar en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la extracción de variables como "art_13_CP_aplicable", "art_14_CP_aplicable" y "art_17_CP_aplicable", considerando que su representación podría enriquecerse mediante codificación categórica en lugar de binaria.

En síntesis, los resultados obtenidos constituyen una evidencia preliminar del potencial del PLN en el ámbito judicial argentino, mostrando cómo estas herramientas pueden modernizar procesos complejos y contribuir a mayor eficiencia, objetividad y transparencia. Como se indicó anteriormente, este enfoque no busca reemplazar la intervención humana, sino complementarla con capacidades analíticas avanzadas que, siempre bajo criterios éticos y normativos, fortalezcan la toma de decisiones judiciales y orienten nuevas líneas de investigación interdisciplinaria.

## 6. Trabajos Futuros

Los resultados obtenidos abren múltiples líneas de trabajo para profundizar el impacto de esta metodología en el ámbito judicial.

Una primera línea apunta a ampliar las variables extraídas, incorporando atributos de mayor complejidad semántica, como evaluaciones psicológicas, informes criminológicos y datos del entorno sociofamiliar. Esto requerirá técnicas avanzadas de PLN, como modelos con atención jerárquica o representaciones vectoriales contextuales entrenadas en textos jurídicos.

También se prevé entrenar modelos de clasificación y predicción para anticipar el otorgamiento de beneficios penitenciarios, incorporando mecanismos que expliquen el modelo aplicado y que brinden garantías éticas y legales para asegurar la transparencia y la supervisión humana.

Asimismo, se proyecta adaptar la metodología a otros fueros del derecho argentino (civil, laboral, familia), lo que exigirá ajustar los modelos al lenguaje y estructura documental de cada ámbito. En paralelo, se plantea el desarrollo de interfaces interactivas con visualizaciones y recomendaciones para asistir a operadores judiciales.

Finalmente, se subraya la necesidad de establecer marcos normativos que regulen el uso de IA en la justicia, resguardando principios como la privacidad, la no discriminación y la supervisión humana.

## Referencias

1. Spositto, O., Ledesma, V., Procopio, G., & Bossero, J. (2020). Inteligencia artificial aplicada al Poder Judicial. En XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020), Universidad Nacional de la Patagonia Austral, 7–11.
2. Spositto, O., Busnelli, L., Conti, L., García, S., Pérez Villar, G., Ledesma, V., Procopio, G., & Bossero, J. (2020). Sistema experto para apoyo del proceso de despacho de trámites de un organismo judicial. En XIV Simposio de Informática en el Estado (SIE 2020) - JAIIO 49, Facultad de Ingeniería, UBA, 17–29.
3. Spositto, O., Ledesma, V., Procopio, G., & Bossero, J. (2020). Metodología para evaluar un modelo de justicia predictiva. En 8vo Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI 2020), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, 527–535.
4. Spositto, O., Ledesma, V., Procopio, G., & Bossero, J. (2021). Experticia: Un modelo de sistema experto aplicado al Poder Judicial. En XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2021), Universidad Nacional de Chilecito, 113–118.
5. Spositto, O., Ledesma, V., Procopio, G., & Bossero, J. (2021). Experticia, un sistema experto para dar apoyo al despacho de trámites asociados al expediente judicial. Suplemento de Derecho de la Alta Tecnología, elDial.com. https://www.eldial.com/nuevo/lite-tcd-detalle.asp?id=14162
6. Solar Cayón, J. I. (2020). La inteligencia artificial jurídica: Nuevas herramientas y perspectivas metodológicas para el jurista. "Revus. Journal for Constitutional Theory and Philosophy of Law", (41).
7. Gumy, J. N. (2021). Sistema de gestión y búsqueda de sentencias judiciales utilizando procesamiento del lenguaje natural* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ingeniería].
8. Castro, M. D. C. (2024). Modelo de análisis de tópicos en ordenanzas regionales del Gobierno Regional de Puno de 2010 a 2024 utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano de Puno].
9. Kostina, A., Dikaiakos, M., Stefanidis, D., & Pallis, G. (2025). Large language models for text classification: Case study and comprehensive review. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.08457
10. Naveed, H., Khan, A. U., Qiu, S., Saqib, M., Anwar, S., Usman, M., Barnes, N., & Mian, A. S. (2023). A comprehensive overview of large language models. arXiv. https://arxiv.org/abs/2307.06435
11. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D., Wu, J., Winter, C., ... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. In Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 1877–1901. https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/1457c0d6bfcb4967418bfb8ac 142f64a-Paper.pdf
12. Da Silva Conceição, J., de Araújo Filho, R. B., dos Santos, I. T. O., & Pinheiro, O. R. (2025). Estudo comparativo de modelos LLM para classificação de documentos. Observatório de la Economía Latinoamericana, 23(5), e9875-e9875.
13. Kleinberg, J., Lakkaraju, H., Leskovec, J., Ludwig, J., & Mullainathan, S. (2018). Human decisions and machine predictions. The Quarterly Journal of Economics, 133(1), 237–293. https://doi.org/10.1093/qje/qjx032
14. Zheng, L., Guha, N., Anderson, B. R., Henderson, P., & Ho, D. E. (2021). When does pretraining help? Assessing self-supervised learning for law and the CaseHOLD dataset. *In Proceedings of the 18th International Conference on Artificial Intelligence and Law (ICAIL '21)* (pp. 159–168). ACM. https://doi.org/10.1145/3462757.3466088
15. Chalkidis, I., Fergadiotis, M., Malakasiotis, P., Aletras, N., & Androutsopoulos, I. (2020). LEGAL-BERT: The Muppets straight out of Law School. In Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2020 (pp. 2898–2904).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Association for Computational Linguistics. https://aclanthology.org/2020.findings-emnlp.261/

16. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. In Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (pp. 4171–4186). Association for Computational Linguistics. https://aclanthology.org/N19-1423/
17. OpenAI. (2023). ChatGPT (Mar 14 version) [Large language model]. https://chat.openai.com/chat
18. Niklaus, J., Matoshi, V., Rani, P., Galassi, A., Stürmer, M., & Chalkidis, I. (2023). LEXTREME: A Multi-Lingual and Multi-Task Benchmark for the Legal Domain. In Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2023 (pp. 3016–3054). Association for Computational Linguistics. https://aclanthology.org/2023.findings-emnlp.200/
19. Zhong, H., Xiao, C., Tu, C., Zhang, T., Liu, Z., & Sun, M. (2020). How does NLP benefit legal system: A summary of legal artificial intelligence. En Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (pp. 5218–5230). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.466.
20. Aletras, N., Tsarapatsanis, D., Preoţiuc-Pietro, D., & Lampos, V. (2016). Predicting judicial decisions of the European Court of Human Rights: A natural language processing perspective. PeerJ Computer Science, 2, e93. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.93.
21. Katz, D. M., Bommarito, M. J., & Blackman, J. (2017). A general approach for predicting the behavior of the Supreme Court of the United States. PLOS ONE, 12(4), e0174698. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174698
22. Luo, B., Feng, Y., Xu, J., Zhang, X., & Zhao, D. (2017). Learning to predict charges for criminal cases with legal basis. Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 2727–2736. https://aclanthology.org/D17-1289/
23. Parra Sepúlveda, D., & Concha Machuca, R. (2021). Inteligencia artificial y derecho. Problemas, desafíos y oportunidades. Vniversitas, 70, 1-25. https://doi.org/10.11144/Javeriana.vj70.iadp.
24. Cotino Hueso, L. (2023). Intel·ligència artificial, tecnologies i recursos del llenguatge: polítiques i dret per a l'explotació de corpus i bases de dades. Revista De Llengua I Dret, (79), 61–77. https://doi.org/10.58992/rld.i79.2023.3860
25. Beltagy, I., Lo, K., & Cohan, A. (2019). SciBERT: A pretrained language model for scientific text. In Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP) (pp. 3615–3620). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/D19-1371
26. Hendrycks, D., Burns, C., Basart, S., Critch, A., Li, J., Song, D., & Steinhardt, J. (2021). Aligning AI with shared human values. In Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML). https://arxiv.org/abs/2008.02275
27. Huang, X., Lin, J., & Demner-Fushman, D. (2006). *Evaluation of PICO as a knowledge representation for clinical questions*. In Proceedings of the 2006 American Medical Informatics Association Annual Symposium (pp. 359–363). Washington, DC. Disponible en: https://cs.uwaterloo.ca/~jimmylin/publications/Huang_etal_AMIA2006.pdf
28. Torres, P. M. (2024). Recuperación de Información en IAs conversacionales: un acercamiento al prompt engineering para documentalistas. Disponible en: https://zaguan.unizar.es/record/147370/files/TAZ-TFG-2024-1482.pdf?version=1
29. Villegas Duque, A. (2024). Aplicación de Modelos Generativos de Inteligencia Artificial en la Automatización de Procesos Contables: Desarrollo y Evaluación de una Herramienta Web Avanzada para Empresas.Disponible en:https://ruc.udc.es/items/08980e07-0e81-4498-9200-3aaa8ec7c536
30. Zhong, H., Guo, Z., Tu, C., Xiao, C., Liu, Z., & Sun, M. (2020). Iterative Document Representation Learning Towards Summarizing Long Legal Documents. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 34(05), 12505–12512. https://doi.org/10.1609/aaai.v34i05.6512
31. Kleinberg, J., Lakkaraju, H., Leskovec, J., Ludwig, J., & Mullainathan, S. (2018). Human decisions and machine predictions. The Quarterly Journal of Economics, 133(1), 237–293. https://doi.org/10.1093/qje/qjx032.
32. Figueroa Guevara, L. H. (2025). Análisis y automatización del procesamiento de requerimientos de la Ley de Transparencia en el Ministerio de Salud utilizando técnicas de procesamiento del lenguaje natural. Disponible en:https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/205291
33. Téllez Torres, J. M. (2025). Aplicación de principios físicos en el procesamiento del lenguaje natural para la detección de similitud textual en descripciones faciales. Disponible en:https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/4e0c57a9-b471-4e4f-ab3a-6fc962ca46fc/content
34. Rodríguez, Á. H. (2025). Detección Automática de Noticias Falsas en Redes Sociales Usando Modelos de Procesamiento de Lenguaje Natural. Disponible en: https://oa.upm.es/89825/1/TFG_ALVARO_HERNANDEZ_RODRIGUEZ.pdf.
35. Google Developers. (2025). *Classification: Accuracy, precision, recall and related metrics*. https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/accuracy-precision-recall

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Propuesta de Automatización de Ventilación en Data Centers mediante Herramientas de Inteligencia Artificial

*Federico, D'Angiolo – Fernando, Asteasuain – Ivan, Kwist – Matias, Loiseau*
*Ingeniería en Informática.*
*Departamento de Tecnología y Administración.*
*Universidad Nacional de Avellaneda – Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.*
*{fdangiolo,fasteasuain, ikwist, mloiseau}@undav.edu.ar*

## Resumen

*En la actualidad, la Inteligencia Artificial (IA) se encuentra abarcando muchas áreas, sobre todo la de procesamiento de datos que tiene en cuenta el sensado de variables climáticas. Por esta razón, en el presente trabajo, se propone estudiar cómo se puede modificar la ventilación de un Data Center (DC) mediante el análisis de las variables climáticas que afectan a dicho recinto. Para esto, utilizando IA, se podrán procesar datos como por ejemplo, temperatura, humedad y presión. Para llevar a cabo esta acción, se propone en un comienzo realizar un sensado de dichas variables en el Data Center y luego, mediante IoT (Internet of Things), enviar estos datos a la nube. Con estos datos a disposición, el objetivo de este trabajo es obtener modelos que permitan estimar cuándo activar dicha ventilación de acuerdo a cómo se agrupan los meses del año en términos del clima. Esto se llevará a cabo mediante herramientas de IA, más específicamente, utilizando Machine Learning (ML).*

## 1. Introducción

Hoy en día, dado el avance tecnológico en lo respectivo a Industrias 4.0, en especial, en las áreas de sistemas en tiempo real y de sensores para el muestreo de datos, resulta interesante estudiar cómo se pueden integrar éstas con los algoritmos de Inteligencia Artificial (IA)[1] [2]. Haciendo mayor foco en esta conjugación, es importante estudiar tecnologías como AIoT/IIoT/IoT (Artificial Intelligence of Things/Industrial Internet of Things/Internet of Things) que permiten realizar mejoras en el ámbito que respecta a IA e IoT [3]. Esto último tiene dos aristas, por un lado, mediante IA, se pueden realizar análisis de correlación entre datos para poder construir modelos que permitan predecir ciertos comportamientos y, por el lado de IoT, tenemos la conexión de distintos dispositivos y sensores con otros, mediante Internet. Ambas han crecido de manera exponencial en la industria como en la academia [4]. Atendiendo al caso de los Data Centers, resulta de una gran necesidad monitorear variables como temperatura, humedad y presión para que los equipos que se encuentran dentro, puedan trabajar correctamente [6]. Por esta razón, es conveniente estudiar modelos que permitan, no sólo monitorear al ambiente sino que puedan actuar sobre el mismo dando indicaciones de cuándo encender o apagar ventilaciones. Para llevar a cabo esta labor, en este trabajo se describen conceptos de Aprendizaje Supervisado (AS) y No Supervisado (ANS). Específicamente dentro de AS, algoritmos que permitan realizar clasificaciones tales como Naive Bayes, KNN y Árboles de decisión, mientras que, por el lado del ANS, se comentarán algoritmos como K-Means [13] [14] [15]. Al estudiar estos modelos, se podrá concluir cuál es el mejor a la hora de activar la ventilación dentro del DC, objetivo principal de este desarrollo. Por último, articulando estos algoritmos con la necesidad en el cuidado de un Data Center, surge la idea de Green Data Centers en donde se puede apreciar la idea transformadora de ésta a la hora de reducir el consumo necesario para mantener refrigerado a dicho DC. De esta forma, el objetivo es lograr eficiencia energética y sostenibilidad mediante una gestión térmica [16] [17] [18].

### 1.1. Conceptos Generales aplicados al caso de estudio

El objetivo de estudiar clasificadores radica en el siguiente caso: si se quiere conocer cuándo activar la ventilación en un momento del año, resulta importante disponer, para ese momento, los valores de temperatura, humedad y presión (pensados como ternas de valores). Con ellos, se puede entonces utilizar un clasificador y obtener el resultado de activar o no una ventilación, siendo que la etiqueta que usen los clasificadores para su funcionamiento, proviene del agrupamiento que realice

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



previamente K-Means. Para conocer cuál puede ser el mejor modelo de clasificador, se acude a evaluar su precisión (accuracy, en inglés).

Para el caso de la presente descripción, las variables climáticas que se encuentran dentro del Data Center, serán muestreadas mediante sensores de temperatura, humedad y presión, para luego, mediante protocolos de IoT, transmitirlas a ThingSpeak, la cual es una plataforma que permite realizar la visualización y seguimiento en tiempo real de los datos. Desde aquí, se podrán descargar los mismos mediante un dataset el cual contiene datos tomados en tiempo real, para lo cual, resulta importante estudiarlos y realizar una limpieza si fuese necesario. Además, hay que considerar que los mismos no se encuentran etiquetados para que los clasificadores puedan trabajar correctamente. Por esta razón, uno de los primeros pasos es realizar una limpieza de datos para luego poder aplicarles algoritmos de clustering como por ejemplo, K-Means, y poder así estudiar su agrupación. Luego de esta acción, se procederá entonces a entrenar algoritmos de clasificación como los mencionados.

En base a lo comentado este trabajo propone, mediante el uso de herramientas de Machine Learning (ML), la construcción de modelos que permitan predecir cuándo sería conveniente encender o apagar la ventilación dentro de un Data Center. Esta activación de la ventilación dependerá de los cambios climáticos internos al DC, es decir, las variaciones en temperatura, humedad y presión debido a la apertura y cierre de puertas, al intercambio de calor con el exterior, y la cantidad de personas que ingresen o egresen. De esta forma, la selección de los hiperparámetros de los algoritmos de ML se realizará en base a la premisa de que los equipos dentro del Data Center, no sobrecalienten debido a la acción climática del ambiente. Es importante aclarar que este trabajo describe la acción comentada y que, como trabajo a futuro, se pretende validar la acción final de cuantificar cómo cambian las variables climáticas al accionar la ventilación, es decir, mediante un lazo cerrado que incluya la acción de ventilación.

### 1.2 Trabajos relacionados

En la actualidad existen diversos estudios, muchos de ellos resultan importantes a la hora de incrementar la eficiencia en la ventilación de Data Center puesto que así se reduce el consumo eléctrico del recinto. Es aquí entonces donde dela contribución de IA resulta de gran aporte ya que se pueden crear modelos predictivos que contribuyan con el consumo eléctrico. Es decir, mediante la recolección de datos, se pueden crear modelos para mejorar la ventilación del DC [5]. En este sentido, actualmente resulta muy interesante la investigación en el área de “Green Data Centers” donde se pueden encontrar objetivos como: optimizar la eficiencia de energía en el hardware utilizado, lograr la integración de energías renovables y estudiar cómo mejorar los sistemas de refrigeración. Todos estos temas requieren de algoritmos de Inteligencia Artificial para realizar estas mejoras [6] [7] [8] [9] [10].

Existen diversos trabajos que relacionan Data Centers con Machine Learning como por ejemplo, aquellos donde se crean modelos de predicción para conocer el consumo y la velocidad que debe tener la ventilación para mejorar el rendimiento de Data Centers, es decir, mediante el muestreo de datos, se crean modelos basados en ML para poder saber cómo afectará el rendimiento de la sala [11]. Por otro lado, se pueden encontrar trabajos donde, mediante técnicas de ML, más específicamente, usando clustering, se pueden encontrar debilidades y fortalezas de las características térmicas del Data Center. Esto se realiza tomando datos extraídos del mismo recinto. Aquí se puede ver cómo mediante este tipo de técnicas se pueden encontrar formas de gestionar y mejorar la ventilación del ambiente citado [12].

Teniendo en cuenta los trabajos descriptos, en este trabajo se pretende obtener modelos que permitan estimar cuándo debe activarse la ventilación dentro del DC para mitigar efectos de temperatura y humedad en los distintos meses del año. Para esto, se estudiarán algoritmos de Clustering y Clasificadores.

Este trabajo se distribuye de la siguiente forma: En la sección 2, se comentarán brevemente los Algoritmos de Aprendizaje Supervisado y No Supervisado. Luego, en la sección 3, se describe la aplicación de estos algoritmos al caso de estudio para que a continuación, en la sección 4, se puedan estudiar los análisis y resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se describen las conclusiones con los posibles trabajos a futuro.

## 2. Machine Learning: Conceptos preliminares.

Para poder llevar a cabo la labor de estimar cuándo apagar o encender la ventilación del DC, a continuación se realizará una breve descripción de cada uno de los algoritmos utilizados. Se comienza con la explicación de K-Means, un algoritmo de Aprendizaje No Supervisado que será utilizado para generar etiquetas (explicado en la sección 3). Luego se comentan los algoritmos de Aprendizaje Supervisado, más precisamente, de clasificación. En este caso, se hace referencia a Naive Bayes, KNN y Árboles de decisión, que permitirán realizar la predicción en cuanto a la activación o no de la ventilación.

### 2.1. K-Means

El algoritmo K-Means es un modelo de ANS que se usa en casos donde se tiene un conjunto de datos no

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



etiquetados. Este modelo se encuentra basado en centroides y, mediante el cálculo de distancias entre el centroide y los puntos contenidos en el conjunto de datos, se pueden crear clusters o grupos de datos.

Para esto, primero se toma un valor de K y luego se divide a los datos en K categorías, de forma que exista similitud entre los datos y poder así, generar grupos con las mismas características [14].

Cuando se habla de distancias, existen generalmente dos tipos: Euclidiana y de Manhattan. Es de gran importancia estudiar en algunos casos, cuál de las dos conviene utilizar.

### 2.2. Naive Bayes

Este tipo de clasificador tiene un gran desempeño y permite determinar la probabilidad de un suceso dado un conjunto de condiciones, mediante el teorema de Bayes. El enfoque es sencillo desde su utilización, entendiendo que el adjetivo "ingenuo" (Naive) se atribuye a la independencia condicional de las causas. Esto, en algunos casos, puede ser difícil de aceptar inmediatamente, dado que en muchos contextos la probabilidad de una característica particular está estrictamente correlacionada con otra. Es decir, la aparición de una causa no suele ser independiente de la presencia de otras. Sin embargo, en Zhang H., "La optimalidad de Naive Bayes", AAAI 1, no. 2 (2004): 3, el autor demostró que bajo condiciones particulares, diferentes dependencias se eliminan entre sí, con lo cual un clasificador de Naive Bayes puede lograr un rendimiento muy alto incluso si su ingenuidad se viola.

### 2.3. KNN

El algoritmo de clasificación KNN (K-Nearest Neighbor), o algoritmo de vecinos más cercanos, es de gran utilización donde la idea central es clasificar nuevos datos de categoría desconocida, en base a la distancia euclidiana (u otra forma de medir distancia), respecto a los datos previamente conocidos, los cuales, se pueden encontrar en un dataset.

El primer paso de este algoritmo es extraer las características del dato a clasificar y compararlas con las de cada dato de categoría conocida que se encuentran en el conjunto de prueba (dataset). A continuación, el segundo paso es determinan los ***K*** vecinos más cercanos y realizar una votación para determinar la categoría a la que pertenecerá el dato de muestra.

Este algoritmo tiene algunas ventajas, como por ejemplo, ser fácil de comprender y tener un buen efecto de clasificación. Sin embargo, como desventajas, es útil mencionar el costo en tiempo y espacio [15].

### 2.4. Árboles de decisión

Este algoritmo, ampliamente usado en acciones de clasificación, se basa en nodos y ramas, como en un árbol. Cada uno de los nodos representa características en una categoría que será clasificada. Debido a su simplicidad y precisión en diversos conjuntos de datos, los árboles de decisión son ampliamente utilizados en distintas aplicaciones [13].

## 3. Aplicación al caso de estudio

Previamente al estudio en cuanto a la activación de las distintas ventilaciones en el Data Center, resulta conveniente describir cómo se realizó el sensado de las variables climáticas en el ambiente. Para esto, en la figura 1, se muestra una vista superior del Data Center y cómo se distribuyen los distintos servidores.

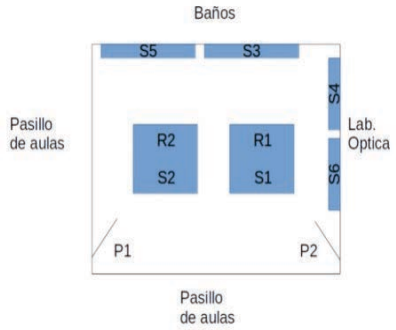



**Figura 1. Layout del Data Center**

La distribución espacial que se propone en la figura 1, tiene en cuenta a los Racks denotados mediante R1 y R2 los cuales alojan un servidor cada uno. Luego los módulos S1,...,S6, construidos por los autores para el desarrollo del presente trabajo, son los encargados de sensar temperatura, humedad y presión del ambiente, los cuales se encuentran basados en módulos WiFi ESP8266 y sensores DS18B20 y DHT22. Estos módulos se encargan de tomar la información climática del medio y la envían, mediante WiFi, a un servidor externo (Thingspeak) el cual almacena todos los datos. Como resguardo, los datos de temperatura sensados se envían a los propios servidores del Data Center. En esta etapa, es importante resaltar que la toma de datos se realiza cada quince segundos dado que es el período de muestreo permitido por el servicio de la plataforma de datos, ThingSpeak. Además, el sensado se realizó entre septiembre y marzo, con lo cual, no se pudo sensar a los meses de invierno.

Además es importante tener en cuenta que el Data Center se encuentra rodeado de otros laboratorios, es decir,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



no se encuentra sujeto a variaciones climáticas externas importantes. Aparte, como se puede ver en la figura 1, el DC cuenta con dos puertas denotadas con P1 y P2, las cuales se abren y se cierran cada vez que ingresan o egresan personas, lo que puede producir cambios en el flujo de calor. Esto es adecuado mencionar pues la apertura de las puertas, puede provocar variaciones en la temperatura, humedad y presión del lugar, sobre todo en épocas de trabajos intensos. El lugar no cuenta con ventanas hacia el exterior.

En algunas ocasiones, ocurren caídas en la red de WiFi o cortes de luz momentáneos, los cuales producen un reseteo de los módulos y, al producirse esto, se emiten valores que no se condicen con el comportamiento del ambiente hasta el momento. Todo lo descripto hasta aquí, reviste de gran importancia, dado que así se conforma el conjunto de datos, el cual resulta ser la entrada a los algoritmos de ML. Por lo tanto, si los mismos no se encuentran revisados adecuadamente, los algoritmos clasificarán de forma incorrecta.

En primera instancia, dado que los datos obtenidos no se encuentran etiquetados, debido a que se obtienen directamente de los sensores, resulta importante aplicar un algoritmo de clustering que permita conformar grupos (clusters). Por esta razón, se procederá a utilizar K-Means dada su versatilidad. Luego, se procederá a usar distintos algoritmos de clasificación.

### 3.1. Datos obtenidos

Los datos obtenidos a través de los sensores necesitan ser procesados dado que, en algunas circunstancias, debido a cortes de luz o de WiFi, los mismos no son del todo correctos. Para solucionar esto, se utilizan los Boxplots ya que estos permiten visualizar valores atípicos, sobre todo en datos obtenidos a través de mediciones, los cuales pueden tener valores fuera de lo esperado. De esta manera, con esta herramienta, se pueden detectar datos atípicos y eliminarlos, en caso de que sea necesario. A modo de ejemplo, en la figura 2a se observa cómo quedan los datos de temperatura cuando son obtenidos de forma cruda y en la figura 2b se muestran los datos procesados. De forma similar se procede con los datos de humedad y presión.

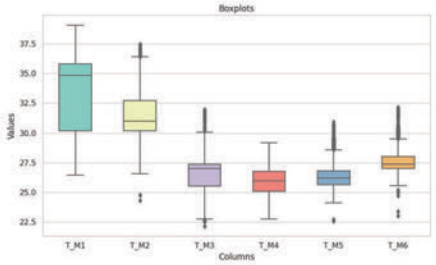



**Figura 2a. Boxplots de temperatura: datos crudos.**

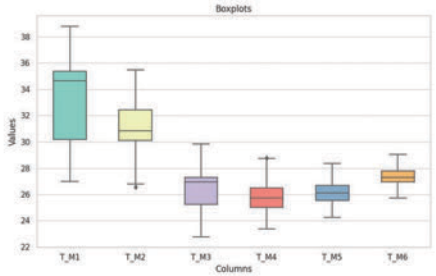



**Figura 2b. Boxplots de temperatura: datos procesados**

En los gráficos anteriores, TM1,...,TM6, representan los valores de temperatura obtenidos de cada módulo instalado en el Data Center. De las figuras anteriores, se puede ver que el caso donde se filtran los datos (figura 2b), representa un mejor conjunto de datos para luego ser utilizado por los algoritmos de ML.

### 3.2. Limitaciones del estudio

Ante lo comentado hasta aquí, mas específicamente en la sección 1.1, a futuro se pretende agregar la acción de ventilación para observar los resultados. Este trabajo se concentra en muestrear las variables ambientales para que, mediante algoritmos de IA, se pueda conocer cuándo sería conveniente encender o apagar la ventilación dentro de un Data Center.

Además, ante los datos obtenidos en el período mencionado, como trabajo a futuro, se pretende cuantificar los meses restantes para obtener un año completo de sensado; al día de hoy, se puede considerar una limitación del estudio pero que a futuro será contemplada.

## 4. Análisis y resultados

Dada la cantidad de datos obtenidos de los sensores, el primer paso es la utilización de K-Means para conformar grupos de datos y, para esto, se utilizarán los datos provenientes de la periferia de los servidores, es decir, de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



los módulos S3,...,S6. Es importante aclarar que se usan los datos de la periferia dado que pueden muestrear cómo se comporta el clima dentro del DC. Con esto se quiere decir lo siguiente: si además de muestrear la periferia, tomamos los módulos S1 y S2, estos últimos se verán perturbados por la temperatura de los servidores dado que se encuentran sobre dichos servidores. Por esta razón, se declinó en el uso de los módulos S1 y S2.

De esta forma se podrán conformar grupos de datos que tengan en cuenta la hora, día y mes de la toma de datos para así, conformar grupos de meses donde resulte necesaria la activación de la ventilación. De esta forma cada cluster o grupo, indicará cuándo se debe ventilar el Data Center, teniendo en cuenta la variación de temperatura, humedad y presión, basados en las distintas variaciones que pueda haber en la sala.

Previamente al análisis de los datos, se procederá a comentar el hardware, el software y el conjunto de datos utilizados. Luego se procederá a estudiar los resultados obtenidos mediante algoritmos de clustering y clasificación.

### 4.1. Hardware, Software y Conjunto de datos.

En cuanto al Hardware, se utilizó un procesador Intel Core I7 de 2.40GHz con 16 GB de Memoria RAM. Luego, en cuanto al Software, se desarrolló en Python mediante bibliotecas de Scikit learn.

En base a los datos obtenidos mediante la toma de datos con sensores se dividió al conjunto en dos partes: una para entrenamiento y otra para validación, siendo esta relación de 70/30, respectivamente.

Con respecto al conjunto de datos, el mismo contiene como columnas, a los datos de temperatura, humedad y presión de cada módulo y en sus filas se puede encontrar el dia, el mes y el año como así también el valor numérico de cada una de las variables [19]. El código se puede encontrar en [20], el cual se encuentra en modificación continua.

### 4.2. Análisis mediante clustering.

Dado que el primer paso es aplicar K-Means, se accede a llevar a cabo la curva de Elbow para observar cuál es la cantidad de clusters adecuada. En la figura 3 se puede ver esto:

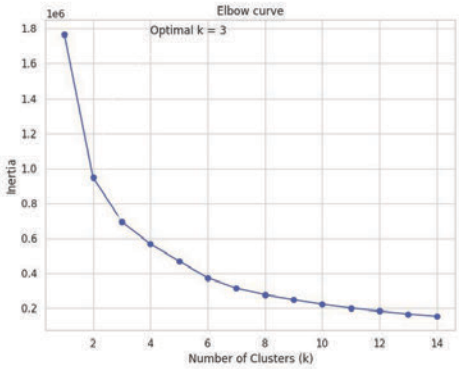



**Figura 3. Elbow para datos de la periferia de los servidores**

En la figura 3 se puede observar que el número de clusters es K = 3, el cual surge tomando el "codo" de la curva. Algorítmicamente esto se produce tomando el punto de inflexión mediante la segunda derivada.

Dado que el valor resultante es K = 3, esto genera la idea de que habrá tres grupos de datos que serán establecidos entre los distintos meses. Para comprender y visualizar esto, se propone la siguiente tabla:

**Tabla 1. Tabla de asignación de clusters. K vs Meses**

| K vs Meses | | |
|---|---|---|
| Septiembre | Octubre-Febrero | Marzo |
| Cluster 0 | Cluster 1 | Cluster 2 |

En la tabla 1 se puede observar que K-Means agrupa las épocas del año en tres, lo cual genera la idea de que existirán tres etiquetas que serán utilizadas luego, por los clasificadores. Dado que K-Means tiene como salida la cantidad de clusters (K), se debe adoptar una política de ventilación para los meses del año según este valor de K. Los valores de la tabla 1, se obtuvieron de acuerdo a cómo se agrupan los labels según las fechas, por ejemplo, para el caso del Cluster 0, la fila correspondía al mes de septiembre, para del Cluster 1, las filas correspondían a los meses de octubre-febrero y para el Cluster 2, las filas seleccionadas se asignaron al mes de marzo.

Estos agrupamientos obtenidos, podrán ser utilizados como etiquetas (labels, en inglés), para la utilización de los distintos clasificadores y saber así, cuándo activar la ventilación. Por ejemplo, dado que la cantidad de Clusters varía entre 0 y 2, una posible política de ventilación podría ser que la misma sea activada para cuando la etiqueta se encuentra en el Cluster 1 y, para cuando las etiquetas valen 0 o 2 apagar la ventilación. Esto se puede lograr mediante clasificadores.

A modo descriptivo, a continuación se muestra en la tabla 2, los centroides de cada cluster y luego la justificación de por qué se eligió al Cluster 1 como

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



elección de ventilación. Dado que son tres clusters, se encuentran tres centroides con sus respectivas características (features, en inglés). Cada uno de estos contienen los valores de cada variable, es decir, analizando la tabla 2, los cuatro primeros valores pertenecen a la variable de humedad, seguidos de los cuatro valores de temperatura y los últimos cuatro pertenecientes a la presión (cada centroide en columna).

**Tabla 2. Tabla de asignación de centroides**

| Centroides | | |
|---|---|---|
| Cluster 0 | Cluster 1 | Cluster 2 |
| 42.81 | 51.51 | 60.67 |
| 41.03 | 38.56 | 47.98 |
| 39.68 | 41.70 | 50.00 |
| 38.60 | 39.25 | 47.48 |
| 26.31 | 27.26 | 26.36 |
| 25.54 | 26.74 | 25.92 |
| 26.62 | 26.11 | 25.98 |
| 27.51 | 27.86 | 27.58 |
| 1019.95 | 1007.03 | 1013.18 |
| 1021.11 | 1008.16 | 1014.35 |
| 1021.01 | 1008.10 | 1014.28 |
| 1019.71 | 1006.78 | 1012.98 |

De la tabla anterior, se puede observar cómo se distribuyen los centroides. La elección de activar la ventilación en el Cluster 1, proviene de cómo se comporta la temperatura. Si se analiza la tabla 2, en el Cluster 1 se ven los valores de temperatura un poco más altos en comparación con los otros clusters (filas 5 a 8), por eso la elección. También puede implementarse otra política de ventilación en base a la distribución de los centroides.

### 4.3 Comparación entre clasificadores.

Dado que en el análisis anterior se obtuvieron las distintas etiquetas o labels, a continuación se propone estudiar la precisión de los clasificadores para que, en base a valores tomados en un determinado momento de temperatura, humedad y presión, se pueda saber cuál resulta en un mejor modelo para activar la ventilación del DC.

A continuación se muestra una tabla de comparación entre los distintos clasificadores para observar la puntuación (accuracy), que los diferencia:

**Tabla 3. Tabla ejemplo**

| Comparación de Clasificadores | | |
|---|---|---|
| Clasificador | Parámetros | Accuracy |
| Naive Bayes | - | 97.20 |
| KNN | 5 | 98.74 |
| Árboles de Decisión | 3 | 96.43 |

En el caso de Naive Bayes, no se utilizaron hiperparámetros. En cambio, para KNN y Árboles de Decisión, se utilizaron ***K*** (este ***K*** se refiere a KNN) y max depth, los cuales se explican a continuación:

En el caso de KNN, el valor de ***K*** = 5 se tomó en base a la iteración entre distintos valores de ***K***, observando cómo varía su accuracy. Para comprender por qué se eligió este valor, se procede a graficar el accuracy vs ***K***, en la figura 4:

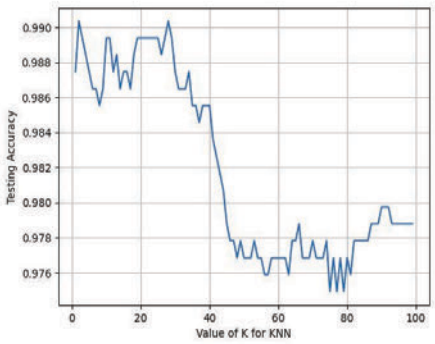



**Figura 4. Accuracy vs K. KNN**

De la figura 4 se puede ver que para valores de ***K*** entre 1 y 40, aproximadamente, el accuracy varía entre un 98,6% y un 99%, es decir, un 0,4%. De aquí se puede inferir que, si bien es bastante oscilante su accuracy, tomando en cuenta un error del 0,4%, se podría tomar cualquier valor entre 1 y 40 para ***K***. En este caso se prefirió utilizar ***K*** = 5. De la misma figura, es evidente que tomar valores mayores a ***K*** = 40, sería perjudicial para el modelo ya que se incurre en un menor valor de accuracy.

Para el caso del árbol de decisión, se iteró con la profundidad del mismo (max depth) evaluando su accuracy, de forma similar al caso anterior. En la figura 5 se puede ver cómo varía dicho accuracy el cual, es bastante oscilante. De forma similar al caso de KNN, se puede ver que el accuracy varía entre un 98% y un 98,7% como casos extremos, pero, si consideramos una franja acotada entre un 98,2% y un 98,6% para tener un error de 0,4%, entonces podríamos elegir un valor para la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



profundidad de 3. De esta forma, estaríamos acotando el accuracy a valores más predecibles.

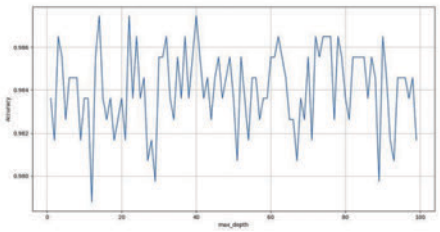


**Figura 5. Accuracy vs max depth. Árboles de decisión**

Finalmente, en la tabla 3 se puede ver que los tres clasificadores poseen puntuaciones similares; sin embargo, KNN parece ser el mejor para este caso.

Para contrastar el análisis anterior, se pueden utilizar otras métricas importantes, como por ejemplo, las tablas de confusión. Estas permiten hacer un análisis entre el valor verdadero y el valor predicho por cada clasificador. A continuación se muestran dichas tablas para Naive Bayes, KNN y Árboles de Decisión:

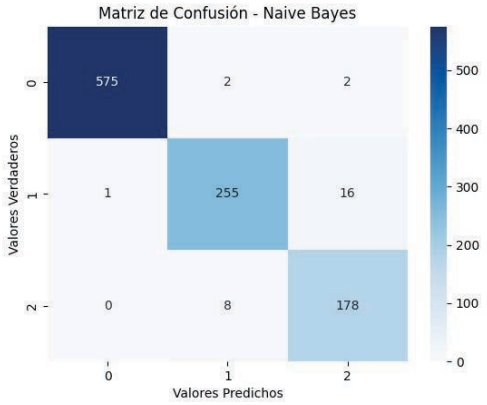



**Figura 6. Tabla de Confusión para Naive Bayes.**

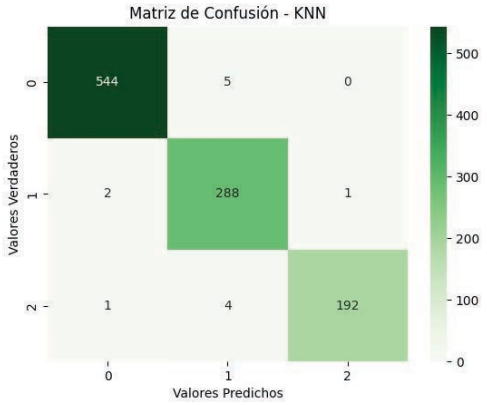



**Figura 7. Tabla de Confusión para KNN.**

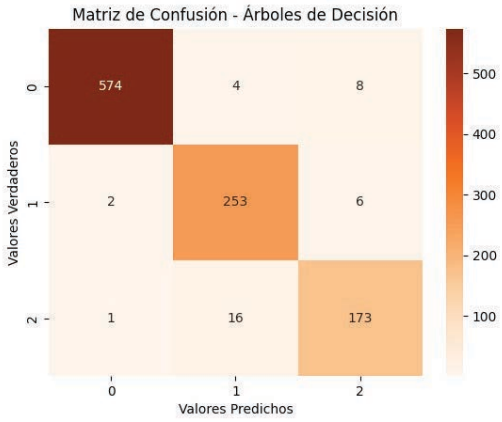



**Figura 8. Tabla de Confusión para Árboles de Decisión.**

Previamente a realizar el análisis, conviene aclarar que las clases marcadas en cada tabla, en los ejes horizantales y verticales, se refieren a los clusters, es decir, la clase 0, corresponde al Cluster 0 y así sucesivamente.

Observando las tablas de confusión para cada clasificador, se puede observar una gran coincidencia entre los valores verdaderos y valores predichos, lo cual se corresponde con el accuracy obtenido anteriormente. En el caso de KNN, esta coincidencia es más acentuada en la diagonal principal, sobre todo en las clases 1 y 2 pero no tanto así en la clase 0, con respecto a Naive Bayes y a Árboles de Decisión, lo cual valida el análisis anterior mediante accuracy, para elegirlo a este, como el mejor clasificador de los tres.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por último, para concluir el análisis de métricas sobre los clasificadores, se agregan Precision, Recall y F1-Score, en la siguiente tabla:

**Tabla 4. Comparación de métricas para los clasificadores**

| Métrica | Clase | Naive Bayes | KNN | Árboles de Decisión |
|---|---|---|---|---|
| Precision | 0 | 1 | 0,99 | 0,99 |
| | 1 | 0,96 | 0,97 | 0,93 |
| | 2 | 0,91 | 0,99 | 0,93 |
| Recall | 0 | 0,99 | 0,99 | 0,98 |
| | 1 | 0,94 | 0,99 | 0,97 |
| | 2 | 0,96 | 0,97 | 0,91 |
| F1-Score | 0 | 1 | 0,99 | 0,99 |
| | 1 | 0,95 | 0,98 | 0,95 |
| | 2 | 0,93 | 0,98 | 0,92 |

De la tabla 4 se puede observar que, para la clase 0, la métrica Precision es mejor en Naive Bayes pero, para las clases 1 y 2, este clasificador decae frente a KNN. Algo similar ocurre para Recall y F1-Score, donde para dichas clases, KNN resulta ser un mejor clasificador. Para el caso de Árboles de Decisión, se ve que sus valores son menores a Naive Bayes y KNN, por eso se lo descarta. Estos análisis coinciden con el realizado previamente con accurcay y tablas de confusión. De aquí entonces que se elige a KNN como el clasificador más acorde.

De esta forma, tomando un conjunto de valores de temperatura, humedad y presión en cualquier época del año comprendida entre septiembre y marzo, se puede entonces saber si se debe apagar o prender determinada ventilación.

## 5. Conclusiones y trabajos a futuro

Este trabajo muestra cómo se pueden obtener, mediante algoritmos de IA, modelos que permitan gestionar la ventilación de un Data Center. Para esto, resulta muy importante realizar un procesamiento de los datos obtenidos a través de sensores dado que muchos de ellos pueden presentar casos atípicos. De aquí se puede ver entonces que, aplicando K-Means, se pueden agrupar las épocas del año en tres. Luego, mediante el uso de clasificadores, se puede ver que el mejor de ellos resulta ser KNN aunque Naive Bayes y Árboles de decisión resultan tener un accuracy parecido. Además se utilizaron otras métricas como Precision, Recall y F1-Score, que permiten validar que KNN es el mejor clasificador para este caso. Esta conclusión tiene en cuenta los hiperparámetros de cada clasificador. Es importante aclarar que estos clasificadores fueron elegidos como un primer avance, es decir, si bien existen otros con sus respectivas bondades, se espera a futuro, analizar más clasificadores, como por ejemplo, SVM, Random Forest y XGBoost, entre otros, y compararlos mediante accuracy u otra métrica pertinente como por ejemplo, tablas de confusión, Precision, Recall y F1-Score, entre otros.

Como trabajo a futuro, resulta importante poder estudiar otros modelos de ML, teniendo en cuenta las métricas asociadas. Incluso, se puede incursionar en otras ramas de IA, como Reinforcement Learning o Heurísticas, de manera de tener un mayor aprendizaje sobre cómo mejorar la situación climática del DC.

En esta línea, resulta conveniente estudiar técnicas como Gridsearch para optimizar parámetros de algoritmos, sobre todo, para saber cómo se puede optimizar este proceso teniendo en cuenta el tiempo de ejecución. Algo importante a futuro, es contemplar el hecho de ver cómo afecta la ventilación a las variables, es decir, observar cómo y cuánto cambian la temperatura, humedad y presión en comparación con las aquí analizadas.

Por último, como trabajo a futuro, es importante muestrear los meses faltantes para completar el dataset de todo un año y tener así, una mayor precisión en los resultados.

## Referencias

[1] Suresh Neethirajan.: “Artifcial Intelligence and Sensor Innovations: Enhancing Live-stock Welfare with a Human-Centric Approach”. 2024.

[2] Shedrack Onwusinkwue., Femi Osasona., Islam Ahmad Ibrahim Ahmad., Anthony Chigozie Anyanwu., Samuel Onimisi Dawodu., Ogugua Chimezie Obi,. Ahmad Hamdan.: Artificial intelligence (AI) in renewable energy: A review of predictive maintenance and energy optimization. 2024.

[3] Kun Mean Hou., Xunxing Diao ., Hongling Shi ., Hao Ding ., Haiying Zhou., Christophe de Vaulx.: Trends and Challenges in AIoT/IIoT/IoT Implementation. 2023.

[4] Javid Ghahremani Nahr., Hamed Nozari., Mohammad Ebrahim Sadeghi.: Green supply chain based on artificial intelligence of things (AIoT). 2021.

[5] Isaev E.A., Kornilov., Grigoriev A.A.: Data Center Efficiency Model: A New Approach and the Role of Artificial Intelligence. 2023.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[6] Ebirim, W., Usman, F., Olu-lawal, K., Ehiobu, N., Ani, E., Montero, D.: Optimizing energy efficiency in data center cooling towers through predictive maintenance and project management. World Journal of Advanced Research and Reviews, 2024, 21(02), 1782–1790. 2024.

[7] Chidolue, O., Ohenhen, P., Umoh, A., Ngozichukwu, B., Fafure, A., Ibekwe, K.: GREEN DATA CENTERS: SUSTAINABLE PRACTICES FOR ENERGY-EFFICIENT IT INFRASTRUCTURE. Engineering Science & Technology Journal P-ISSN: 2708-8944, E-ISSN: 2708-8952 Volume 5, Issue 1, P.No. 99-114, January 2024.

[8] Toto Widyanto., Widjojo Hardjoprakoso.: Greenship Data Center – A Green Data Centre Standard for Indonesia. Proceeding of International Conference on Multidisciplinary Research for Sustainable Innovation, Vol. 1 No. 1 (2024) DOI to be assigned soon. 2024.

[9] Yaran Lianga., Peng Lib., Wen Sua., Wei Lib., Wei Xub.: Development of green data center by configuring photovoltaic power generation and compressed air energy storage systems 2024.

[10] Verónica Bolón., Laura Morán., Brais Cancela., Amparo Alonso.: A review of green artificial intelligence: Towards a more sustainable future. Neurocomputing 2024.

[11] Yaman M. Manaserh., Mohammad I. Tradat., Dana Bani-Hani., Aseel Alfallah., Bahgat G. Sammakia., Kourosh Nemati., Mark J. Seymour.: Machine Learning Assisted Development of IT Equipment Compact Models for Data Centers Energy Planning. 2021.

[12] Anastasiia Grishina., Marta Chinnici., Ah-Lian Kor., Eric Rondeau., Jean-Philippe Georges.: A Machine Learning Solution for Data Center Thermal Characteristics Analysis. 2020.

[13] Bahzad Taha Jijo., Adnan Mohsin Abdulazeez.: Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning. IT Department, Technical College of Informatics Akre, Duhok Polytechnic University, Duhok, Kurdistan Region, Iraq. 2021

[14] Mengyao Cui.: Introduction to the K-Means Clustering Algorithm Based on the Elbow Method. Shandong University of Finance and Economics, Jinan, Shandong, China. 2020

[15] Haiyan Wang.,Peidi Xu., and Jinghua Zhao.: Improved KNN Algorithm Based on Preprocessing of Center in Smart Cities. College of Computer Science and Technology, Changchun University, Changchun 130022, China and College of Computer, Jilin Normal University, Siping 136000, China. 2021

[16] Onyinyechukwu Chidolue, Peter Efosa Ohenhen, Aniekan Akpan Umoh, Bright Ngozichukwu, Adetomilola Victoria Fafure, & Kenneth Ifeanyi Ibekwe. Green Data Centers: Sustainable Practices For Eenergy-Eficient IT Infrastructure. 2024.

[17] Verónica Bolón-Canedo, Laura Morán-Fernández, Brais Cancela, Amparo Alonso-Betanzos. A review of green artificial intelligence: Towards a more sustainable future. 2024.

[18] M Rambabu, Dr. Kunchanapalli Rama Krishna, Dr Mano Ashish Tripathi, Jyoti Kataria, Priyanka Srivastava, Ajay Dixit. Green Computing: Advancing Energy-Efficient Data Centers With AI. 2025

[19] Dataset: https://gitlab.com/info_investigacion/datasets.git

[20] Código: https://gitlab.com/info_investigacion/code

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Estudio exploratorio sobre el uso de espectrogramas de Mel y PCEN para detección de Parkinson

*Marta Eugenia Suarez[1], Verónica Inés Aubin[2], Renata Silvia Guatelli [2]*
*1- Universidad Nacional Arturo Jauretche, 2- Universidad Nacional de La Matanza*
*martaeuge@hotmail.com; {vaubin, rguatelli}@unlam.edu.ar*

## Resumen

*La detección temprana de la enfermedad de Parkinson mediante el análisis de señales de voz constituye un área de investigación en crecimiento, dado que ofrece un método no invasivo, de bajo costo y con potencial aplicación clínica. En este trabajo se presentan los avances de una línea de investigación que explora el uso de distintas representaciones espectrales para la clasificación automática de voces de personas con y sin EP. En particular, se evaluó el desempeño de Mel-espectrogramas normalizados con PCEN (Per-Channel Energy Normalization) generados a partir de grabaciones de la vocal /a/ de la base de datos HUNIPA-2019, que fueron empleados como entrada en una red neuronal convolucional AlexNet con transferencia de aprendizaje. Los resultados preliminares, si bien se mantuvieron dentro de los valores reportados en la literatura, mostraron un rendimiento de accuracy inferior al alcanzado en experimentos previos con espectrogramas Transformada de Tiempo Corto de Fourier y con modelos basados en características acústicas tradicionales,, pero constituye una alternativa válida para la clasificación de la enfermedad de Parkinson, especialmente en escenarios donde la sensibilidad es prioritaria. Este estudio contribuye a la discusión sobre la pertinencia de distintas representaciones espectrales y técnicas de aumentación en escenarios con bases de datos clínicas reducidas, y sienta las bases para investigaciones futuras orientadas a optimizar la robustez y la capacidad de generalización de los modelos de clasificación de Parkinson a partir de la voz.*

## Introducción

Cada persona lleva en su voz una especie de huella digital sonora: única, irrepetible y profundamente vinculada con su estado físico y neurológico. Más allá de las palabras que pronunciamos, la forma en que vibran nuestras cuerdas vocales y resuena nuestro aparato fonador contiene información que suele pasar inadvertida al oído humano, pero que puede ser revelada mediante técnicas de análisis computacional.

La enfermedad de Parkinson (EP) constituye uno de los desórdenes neurodegenerativos más frecuentes a nivel mundial y su detección temprana representa un desafío clínico. Los primeros síntomas no se hacen visibles hasta pasados varios años de padecer la enfermedad donde se observa aproximadamente un 60% de las neuronas degeneradas. El diagnóstico clínico de la EP se basa en el seguimiento de la historia clínica del paciente junto con análisis físicos [1] y neurológicos [2]. El único diagnóstico definitivo es el histopatológico, que se realiza durante la autopsia [3]. Las manifestaciones motoras como el temblor son las más conocidas, sin embargo, existen otros síntomas que degradan la calidad de vida del paciente y en muchas ocasiones son invalidantes [4]

La rigidez muscular en los EP provoca distorsiones en la voz. El análisis de estas alteraciones permite diferenciar voces sanas de patológicas [5, 6], e incluso identificar el estado de la enfermedad [7], ofreciendo una herramienta de diagnóstico no invasiva, precoz y de bajo costo [8].

Los modelos de aprendizaje profundo, en particular las redes neuronales convolucionales (CNN), han mostrado un desempeño prometedor en la detección de la EP a partir del análisis de señales de voz [9]. Estos modelos son capaces de identificar patrones espectrales complejos y no lineales, incluso en etapas tempranas de la enfermedad, cuando los cambios en la señal acústica pueden ser imperceptibles para el oído humano. Las CNN, al operar sobre representaciones visuales como espectrogramas —que capturan información de tiempo, frecuencia y amplitud—, permiten una extracción automática de características relevantes sin requerir intervención manual. Si bien estas redes suelen necesitar grandes volúmenes de datos para lograr una generalización adecuada, en el caso del Parkinson se enfrentan al desafío de bases de datos reducidas, debido a la dificultad y el alto costo de adquisición de muestras vocales en contextos clínicos. No obstante, estudios recientes han demostrado que, incluso con conjuntos limitados, la vocal /a/ sostenidas contienen suficiente información discriminativa para una clasificación eficaz de la enfermedad, [10] lo que resalta el potencial del aprendizaje profundo en el desarrollo de herramientas de apoyo al diagnóstico y monitoreo de la EP.

Como parte de una línea de investigación centrada en la exploración de la voz como biomarcador de la enfermedad de Parkinson, el presente trabajo describe un estudio exploratorio orientado a evaluar la pertinencia de los espectrogramas de Mel combinados con la normalización PCEN como representación de señales de voz en la detección automática de la enfermedad de Parkinson. Se evalúa el desempeño de estas representaciones al ser

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



utilizadas como entrada de una red neuronal convolucional AlexNet con transferencia de aprendizaje, considerando estrategias de aumentación de datos aplicadas directamente sobre los espectrogramas para enfrentar la limitación de muestras disponibles. El artículo busca aportar evidencia comparativa frente a enfoques previamente explorados y sentar bases para futuras investigaciones que optimicen la robustez y capacidad de generalización de los modelos de clasificación de Parkinson a partir de la voz.

## Antecedentes

Desde el año 2017, el equipo de investigación ha venido desarrollando una línea de trabajo centrada en la detección de la enfermedad de Parkinson (EP) a partir del análisis de señales de voz. Esta línea ha sido formalizada a través de los proyectos C199, C224, C239, C252 y C2-ING140, llevados a cabo en el marco del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas y del Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM) con convenios con la Universidad Nacional del Oeste (UNO), el Hospital Posadas y el Hospital Nacional Rivadavia,

A lo largo de este recorrido, se siguieron dos enfoques para la clasificación. El primero se basa en la extracción de parámetros acústicos tradicionales, los cuales fueron evaluados mediante modelos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático (machine learning) [11, 12, 13]. El segundo enfoque emplea modelos de aprendizaje profundo, tales como redes neuronales convolucionales y máquinas de aprendizaje extremo (ELM), utilizando como entrada representaciones espectrales de la señal, específicamente espectrogramas [14, 15, 16].

En ambos casos, se utilizaron grabaciones correspondientes a la vocal /a/ sostenida provenientes de la base de datos HUNIPA. Los resultados obtenidos en las distintas etapas del proyecto muestran tasas de exactitud comparables entre ambas metodologías, con valores que oscilan entre el 85 % y el 88 % de precisión en la clasificación.

## Base de Datos

En 2019 se desarrolló la base de datos HUNIPA-2019 conformada por grabaciones de voz de personas con diagnóstico confirmado de EP y de individuos sin la patología (NE). La iniciativa se concretó gracias a un esfuerzo conjunto de un equipo interdisciplinario en el que participaron profesionales de distintas áreas pertenecientes al Hospital Nacional Profesor Alejandro Posadas y el Hospital General de Agudos Bernardino Rivadavia junto con investigadores de la UNLaM. La propuesta obtuvo la aprobación del comité de ética del Hospital Rivadavia y fue presentada en [17], donde se difundieron resultados descriptivos preliminares. El corpus se conforma con muestras de habla espontánea, la fonación de las vocales sostenidas /a/, /i/, /u/ por separado y por un tiempo estimado de 3 a 5 segundos. Además, se incluyó la repetición de la palabra “Pataka” y la fonación de la frase: “¡Betty! ¡Qué inmensa alegría escucharte! Cuando vengas para fin de año, quiero llevarte a recorrer toda la Argentina.” Las grabaciones de las voces de los 107 casos considerados se realizaron en cabina acústica con un micrófono de condensador polarizado permanente, de placa trasera, con carga fija (AT2020 micrófono de condensador cardioide). Los audios están grabados en una frecuencia de muestreo de 44.100 Hz. Este material se encuentra disponible para descarga libre en [18].

El grupo con EP está conformado por 55 personas de las cuales 24 son mujeres y 31 varones. La edad media fue de 64 años (±8), con una duración promedio de la enfermedad cercana a los 6 años. Los pacientes con EP recibieron doble evaluación neurológica: mediante la escala de Hoehn y Yahr (H&Y) [19] y la versión en español de la Escala Unificada de Evaluación de la Enfermedad de Parkinson (UPDRS), validada por la MDS [20, 21], se les practicó una endoscopia de cuerdas vocales con el fin de descartar alteraciones laríngeas de origen no relacionado con la enfermedad. Las grabaciones de los sujetos con Parkinson se realizaron en estado “on”, es decir, bajo el efecto de la medicación y con los síntomas motores atenuados. Según la escala UPDRS, los pacientes con EP presentaron valores medios de 30,35, con valores que oscilaban entre un mínimo de 12 y un máximo de 53. En la escala H&Y, se observaron valores medios de 1,59. Estos indicadores de la enfermedad se refieren a pacientes con EP en etapas tempranas. La construcción de la base de datos de pacientes con EP implicó que las diferentes evaluaciones especializadas se realizaran el mismo día. En el momento del registro, los pacientes recibían una dosis promedio de 800 mg de levodopa y presentaban síntomas leves. Las características demográficas de los participantes y el estado clínico de los pacientes con EP se muestran en la Tabla 1.

En los casos de los sujetos de control, la edad media fue de 60 años, sin diferencias significativas con respecto a la de los casos con EP, de las cuales el 68% son mujeres y el 32% varones. No se les realizó ningún estudio para descartar cualquier otra patología de la voz.

**Tabla 1. Características demográficas de los participantes y estado clínico de los pacientes con EP.**

| | Media | Mediana | Moda | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| EDAD | 63,8596 | 65 | 62 | 8,23 | 38 | 79 |
| DURACION ENFERMEDAD (en años) | 6,0351 | 5 | 2 | 3,88 | 0,5 | 16 |
| H-Y | 1,5789 | 1,5 | 1 | 0,59 | 1 | 3 |
| DE L-dopa | 878,2143 | 850 | 1000 | 477,46 | 60 | 2400 |
| UPDRS III on | 30,6491 | 29 | 37 | 11,09 | 12 | 53 |
| UPDRS 3.1 | 0,4035 | 0 | 0 | 0,56 | 0 | 2 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Marco Teórico

### Espectrogramas

El espectrograma es una representación visual de una señal, que muestra cómo se distribuye la energía en función del tiempo, la frecuencia y la amplitud (ver Figura 1). A pesar de tener tres dimensiones, puede ser visualizado en una imagen bidimensional. En el espectrograma, las variaciones de color representan la intensidad del sonido a lo largo del tiempo (eje horizontal) en relación con la frecuencia (eje vertical). La representación del habla a través de espectrogramas ha demostrado ser estable y robusta aún con altos niveles de ruido [22, 23].

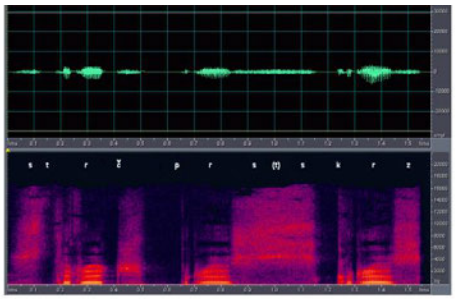


**Figura 1: Espectrograma de la oración del checo Strc prst skrz krk que significa 'Introduce el dedo a través de la garganta'.**

### Tipos de Espectrogramas

Existen diversos tipos de espectrogramas utilizados para representar señales de voz en la clasificación de la enfermedad de Parkinson (EP). A continuación, se presentan algunos de los más relevantes:

- **Espectrogramas de la Transformada de Tiempo Corto de Fourier (STFT)**: Este tipo de espectrograma se obtiene aplicando la transformada de Fourier a segmentos cortos de la señal de voz [24].
- **Espectrogramas de Mel (Mel-spectrograms):** Estos espectrogramas representan la señal de voz en una escala de frecuencia logarítmica, más acorde con la percepción humana del sonido (más resolución en bajas frecuencias y menor en altas) [25].
- **Espectrogramas con Normalización de Energía por Canal (PCEN):** La normalización de energía por canal es una técnica que ajusta la energía de cada canal de frecuencia para mejorar la robustez frente a variaciones en la señal [26].
- **Transformada Wavelet (WT):** La transformada wavelet es una herramienta matemática que permite analizar señales en diferentes escalas y resoluciones. En el contexto de la EP, se ha utilizado para extraer características de la voz que reflejan alteraciones en la modulación temporal y frecuencial [27].
- **Coeficientes Cepstrales en la Frecuencia de Mel (MFCC):** Los MFCC son parámetros acústicos ampliamente utilizados en el procesamiento de voz, que representan la envolvente espectral de la señal. En la detección de la EP, se han empleado para identificar patrones en la voz que indican disartria o rigidez vocal [28].
- **Transformada de Cuadrícula de Frecuencia Logarítmica (CQT):** Resolución de frecuencia logarítmica, similar a la escala musical. Útil para capturar patrones en rangos bajos de frecuencia donde ocurren alteraciones vocales importantes [29].

### Redes Neuronales Convolucionales

Las redes neuronales convolucionales constituyen una de las arquitecturas más utilizadas en el procesamiento de señales e imágenes debido a su capacidad para aprender representaciones jerárquicas a partir de los datos. A diferencia de los modelos tradicionales que dependen de la extracción manual de características, las CNN realizan automáticamente la detección de patrones relevantes mediante la aplicación de filtros convolucionales en diferentes escalas y niveles de abstracción.

### Arquitectura AlexNet

Arquitectura AlexNet [30], pese a haber sido propuesta en 2012, sigue siendo una arquitectura vigente por su simplicidad, disponibilidad de modelos preentrenados y eficacia en tareas de clasificación. Ha demostrado obtener buenos resultados en distintos dominios de aplicación, incluyendo el biomédico. Su diseño secuencial está compuesto por ocho capas: cinco convolucionales, encargadas de extraer características jerárquicas de la entrada, y tres completamente conectadas, orientadas a la clasificación final (ver Figura 2).

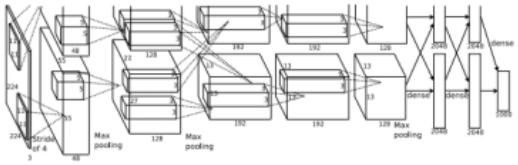


**Figura 2: Esquema de la red AlexNex, publicado en el artículo de Krizhevsky Fuente [30]**

### Aprendizaje por transferencia

El aprendizaje por transferencia es una técnica importante en el campo del deep learning en el caso que contemos con conjuntos reducidos de datos. Consiste en reutilizar un modelo entrenado previamente sobre un gran conjunto de datos y tomarlo como punto de partida para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aprender las características de conjuntos de datos mucho más pequeños.

Ajustar una red con aprendizaje por transferencia reduce el tiempo de entrenamiento utilizando los patrones aprendidos, para su aplicación en dominios nuevos con conjuntos de datos más reducidos.

## Metodología y desarrollo

### Creación de la base de datos de espectrogramas

A partir de las grabaciones de la vocal /a/ sostenida de la base de datos HUNIPA-2019, se construyeron los espectrogramas de Mel mediante la librería Librosa. Posteriormente, se aplicó la normalización PCEN utilizando una frecuencia de muestreo de 22.050 Hz. El proceso dio como resultado un total de 107 espectrogramas en escala de grises, correspondientes a 45 participantes con diagnóstico de Parkinson y 62 sujetos de control.

### Aumentación de datos

Uno de los principales desafíos en este campo es la escasez de datos disponibles. La construcción de una base de datos propia requiere un esfuerzo considerable: contar con pacientes, definir un protocolo de registro, obtener el aval médico correspondiente, incluir controles sanos y garantizar condiciones de grabación estandarizadas. Dado el problema de las pocas muestras, la aumentación de datos es un proceso necesario para aumentar la capacidad de generalización de los modelos. Las transformaciones habituales como por ejemplo rotación, inversión, que se usan para una imagen no se aplican a los espectrogramas ya que alterarían sustancialmente el espectrograma y el sonido que representa.

En este trabajo se utilizaron las siguientes estrategias de aumentación de datos:

- **Paletas de Colores:** Las paletas de colores son útiles para resaltar ciertos detalles del sonido. Las paletas utilizadas son 'viridis', 'magma', 'plasma', 'inferno', 'cividis', 'turbo', 'cubehelix', 'gray', 'coolwarm', 'Spectral', 'nipy_spectral', 'gnuplot', 'twilight', 'rainbow', 'hsv'.

- **Enmascaramiento:** En este caso se bloquearon secciones del espectrograma en sus dos variantes:

    - **Máscara de frecuencia:** enmascara aleatoriamente un rango de frecuencias consecutivas agregando barras horizontales en el espectrograma.

    - **Máscara de tiempo:** similar a las máscaras de frecuencia, excepto que bloqueamos aleatoriamente rangos de tiempo del espectrograma mediante el uso de barras verticales.

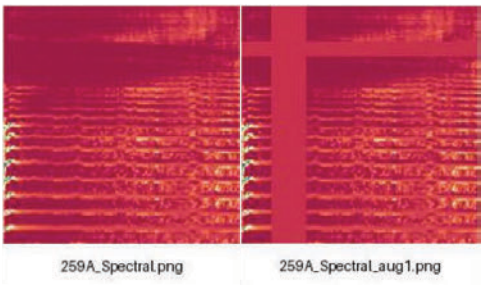



**Figura 3: Espectrograma de Mel con PCEN de una persona sin EP, sin y con enmascaramiento**

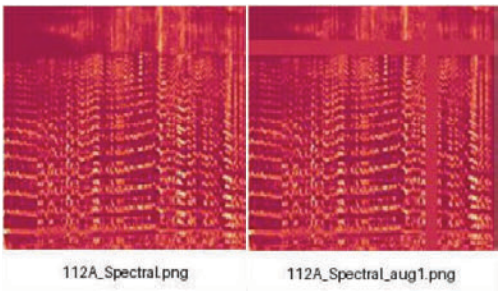



**Figura 4: Espectrograma de Mel con PCEN de una persona con EP, sin y con enmascaramiento**

En la Figura 3 se muestran los espectrogramas de Mel con normalización PCEN correspondientes a una muestra de la vocal sostenida /a/ de un sujeto de control. A la izquierda se observa el espectrograma original, representado con la paleta Spectral, mientras que a la derecha se presenta la versión con enmascaramiento aplicado. De manera análoga, en la Figura 4 se ilustran los espectrogramas de un participante con diagnóstico de EP, permitiendo contrastar visualmente ambas condiciones.

### Hardware y Software

Los experimentos se realizaron en un entorno Google Colab utilizando Python. Para el procesamiento de audio se empleó la librería Librosa, mientras que el diseño, entrenamiento y evaluación de los modelos se llevaron a cabo con PyTorch. El particionado de los datos y el cálculo de métricas de desempeño se realizaron con scikit-learn, y para la visualización de resultados se utilizó Matplotlib.

### Experimento y resultados

El proceso experimental, tal como se observa en la Figura 5, se inicia con la conversión de las señales de voz de la /a/ sostenida, en espectrogramas de Mel con la normalización de PCEN. La entrada al modelo de CNN de es la representación matricial de los espectrogramas (3 canales del modelo RGB). La red extrae en forma automática las características en el período de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



entrenamiento y utiliza las últimas capas para realizar la clasificación entre enfermos y no enfermos de Parkinson.

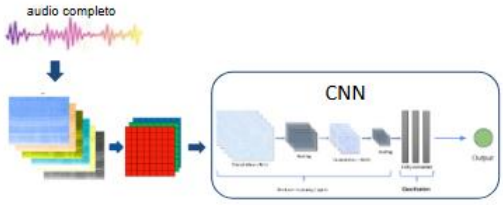



**Figura 5: Diagrama del proceso general del experimento**

Se llevó a cabo un proceso de transferencia de aprendizaje sobre un modelo AlexNet El entrenamiento se llevó a cabo durante 20 épocas, con un batch size de 16 y validación cruzada de 10 folds. Se utilizó como función de pérdida CrossEntropyLoss, adecuada para clasificación binaria, mientras que el optimizador fue Adam, con una tasa de aprendizaje inicial de 1e-4.

La base de datos empleada está compuesta por un total de 3.317 espectrogramas, de ellos, 2.635 fueron destinados a las etapas de entrenamiento y validación, mientras que los 682 restantes, se destinaron al conjunto de pruebas. La distribución de clases en entrenamiento y validación incluyó 1.519 controles y 1.116 pacientes, mientras que en el conjunto de prueba se consideraron 403 controles y 279 pacientes. Esta división se realizó manteniendo la independencia de las muestras a nivel de personas. Se realizó una validación cruzada 10 -folds y se obtuvo en promedio una tasa de aciertos del 0,83 con un F1 score de 0,81.

## Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio permiten establecer una comparación con experiencias previas en la clasificación de la enfermedad de Parkinson a partir de señales de voz. En trabajos anteriores [31], el uso de un modelo de regresión logística sobre características acústicas tradicionales mostró un desempeño satisfactorio, el cual fue superado posteriormente mediante la aplicación de una CNN AlexNet entrenada con espectrogramas basados en la Transformada de Fourier de tiempo corto. En la Tabla 2 se presentan los valores de accuracy, de precisión y sensibilidad alcanzados por cada modelo.

Si bien el desempeño obtenido por el modelo presentado en este trabajo se encuentra dentro de los márgenes reportados en investigaciones relacionadas, fue inferior al observado en los experimentos previos con STFT y modelos tradicionales. En particular, la exactitud global (0,83) y el F1-Score (0,81) fueron más bajos, aunque se alcanzó la mayor sensibilidad (0,89). Este resultado refleja una notable capacidad del modelo para identificar correctamente a pacientes con enfermedad de Parkinson, aunque con una especificidad reducida (0,78), lo que implica una mayor propensión a clasificar erróneamente sujetos sanos como enfermos. Se trata de un modelo que prioriza la detección de casos positivos, minimizando el riesgo de falsos negativos, aunque a costa de un incremento en los falsos positivos. Este comportamiento lo convierte en una alternativa particularmente adecuada para escenarios de cribado o tamizaje clínico, donde resulta preferible identificar la mayor cantidad posible de casos verdaderos aún a expensas de sobreestimar la presencia de la enfermedad.

La coherencia de los resultados con los parámetros descritos en la literatura sugiere que el enfoque es válido, aunque las diferencias de desempeño podrían estar asociadas tanto a la naturaleza de la representación espectral empleada como al tamaño y variabilidad de la base de datos.

**Tabla 2. Índices obtenidos en la evaluación de la clasificación según el modelo logístico y el modelo CNN Alexnet**

| Indicador | Modelo Logístico | STFT | PCEN |
|---|---|---|---|
| ACC exactitud | 0,85 | 0,88 | 0,83 |
| TPR Sensibilidad | 0,79 | 0,87 | 0,89 |
| TNR Especificidad Tasa de Verdaderos Negativos | 0,91 | 0,89 | 0,78 |
| F1 Score | 0,83 | 0,87 | 0,81 |

## Conclusiones

El presente trabajo exploró el uso de espectrogramas de Mel con normalización PCEN como representación de señales de voz en la detección automática de la enfermedad de Parkinson mediante redes neuronales convolucionales. Los resultados alcanzados se encuentran dentro de los márgenes reportados en la literatura, aunque fueron inferiores a los obtenidos previamente con representaciones STFT y modelos tradicionales. No obstante, se observó una alta sensibilidad (0,89), lo que refuerza el potencial de este enfoque para escenarios de cribado clínico, donde minimizar los falsos negativos resulta prioritario aún a costa de un mayor número de falsos positivos.

La incorporación de técnicas de aumentación específicas para espectrogramas —como el enmascaramiento de tiempo y frecuencia y la modificación de paletas de colores— demostró ser adecuada para atenuar los efectos de la limitada disponibilidad de datos, sin comprometer la estructura espectro-temporal de la señal.

Los hallazgos ponen de manifiesto la importancia de seleccionar cuidadosamente la representación espectral según el contexto de aplicación y alientan a continuar investigando estrategias híbridas, arquitecturas profundas optimizadas y metodologías de aumentación de datos que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permitan avanzar hacia sistemas más robustos y clínicamente aplicables en la detección de la enfermedad de Parkinson a partir de la voz.

## Agradecimientos

Este trabajo se realiza en el contexto del proyecto de investigación 'Análisis Comparativo de Espectrogramas para la Detección de la Enfermedad de Parkinson mediante Inteligencia Artificial C2-ING-140', Universidad Nacional de La Matanza y forma parte además de la tesis de maestría de Marta Eugenia Suarez.

## Referencias

[1] F. Goulart, L. X. Pereira, Uso de escalas para avalia ̧c ̃ao da doen ̧ca de parkinson em fisioterapia, Fisioterapia e pesquisa 11 (1) (2005) 49–56. [4] M. M. Hoehn, M. D. Yahr, et al., Parkinsonism: onset, progression, and mortality, Neurology 50 (2) (1998) 318–318.

[2] D. J. Gelb, E. Oliver, S. Gilman, Diagnostic criteria for parkinson disease, Archives of neurology 56 (1) (1999) 33–39. [6] J. G. Nutt, G. F. Wooten, Diagnosis and initial management of parkinson's disease, New England Journal of Medicine 353 (10) (2005) 1021–1027.

[3] F. J. Carod-Artal, H. M. Mesquita, S. Ziomkowski, P. Martinez-Martin, Burden and health-related quality of life among caregivers of brazilian parkinson's disease patients, Parkinsonism & related disorders 19 (11) (2013) 943–948.

[4] M. K ̈ollensperger, F. Geser, K. Seppi, M. Stampfer-Kountchev, M. Sawires, C. Scherfler, S. Boesch, J. Mueller, V. Kouk-ouni, N. Quinn, et al., Red flags for multiple system atrophy, Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society 23 (8) (2008) 1093–1099.

[5] A. Tsanas, M. A. Little, P. E. McSharry, J. Spielman, L. O. Ramig, Novel speech signal processing algorithms for high-accuracy classification of parkinson's disease, IEEE transactions on biomedical engineering 59 (5) (2012) 1264–1271.

[6] S. Arora, L. Baghai-Ravary, A. Tsanas, Developing a large scale population screening tool for the assessment of parkinson's disease using telephone-quality voice, The Journal of the Acoustical Society of America 145 (5) (2019) 2871–2884.

[7] L. Jeancolas, H. Benali, B.-E. Benkelfat, G. Mangone, J.-C. Corvol, M. Vidailhet, S. Lehericy, D. Petrovska-Delacr ́etaz, Automatic detection of early stages of parkinson's disease through acoustic voice analysis with mel-frequency cepstral coefficients, in: 2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), IEEE, 2017, pp. 1–6.

[8] B. E. Sakar, M. E. Isenkul, C. O. Sakar, A. Sertbas, F. Gurgen, S. Delil, H. Apaydin, O. Kursun, Collection and analysis of a parkinson speech dataset with multiple types of sound recordings, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 355 17 (4) (2013) 828–834. doi:10.1109/jbhi.2013.2245674.

[9] Rabie, H., & Akhloufi, M. A. (2025). A review of machine learning and deep learning for Parkinson's disease detection. Discover Artificial Intelligence, 5(1), 24

[10]Sakar B E, Isenkul M E, Sakar C O, Sertbas A, Gurgen F, Delil S, Apaydin H, Kursun O 2013 Collection and analysis of a Parkinson speech dataset with multiple types of sound recordings IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 17(4) 828

[11]Giuliano, M., Fernández, L., & Pérez, S. (2020, December). Selección de Medidas de Disfonía para la Identificación de Enfermos de Parkinson [Not available in English]. In 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON) (pp. 1-8). IEEE.

[12]Giuliano, M., Fernández, L., Pérez, S. N., & Renato, A. (2022, September). Evaluación de áreas del espacio vocal y formantes para caracterizar personas con y sin Enfermedad de Parkinson. In 2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON) (pp. 1-8). IEEE..

[13]Giuliano, M., Fernández, L. A., & Legnani, W. E. (2025). Using reduced feature space (2D and 3D) based on entropic measures for detecting Parkinson's disease through voice. Statistics, Optimization & Information Computing.

[14]Guatelli, R., Aubin, V. I., & Pérez, S. N. (2020). Predicción de la enfermedad de Parkinson utilizando redes neuronales convolucionales. In XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020, El Calafate, Santa Cruz).

[15]Guatelli, R., Aubin, V., Mora, M., Naranjo-Torres, J., & Mora-Olivari, A. (2023). Detection of Parkinson's disease based on spectrograms of voice recordings and Extreme Learning Machine random weight neural networks. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 125, 106700.

[16]Guatelli, R., Aubin, V. I., Barkats Von Willei, G. M., & Dalmasso, M. D. C. (2024). Procesamiento de señales de voz para la clasificación de la enfermedad de Parkinson utilizando redes neuronales convolucionales. In XXVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC)(Puerto Madryn, 18 y 19 de abril de 2024).

[17]Giuliano, M. Adamec, D, Debas M.I, "Construcción de una base de voz de personas con y sin enfermedad de Parkinson", Revista Digital del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de La Matanza (REDDI), vol. 6-Nro.1, 2021.

[18]S. N. Perez and M. Giuliano, ´ Audios vowel A PD, Figshare, 2022. doi:10.6084/M9.FIGSHARE.21453867.V1 URL: https://figshare.com/articles/dataset/Audios_vowel_A_PD/21453867/17.

[19]M. M. Hoehn and M. D. Yahr, Parkinsonism: onset, progression, and mortality, Neurology, vol. 50, no. 2, pp. 318–335, 1998. doi:10.1212/wnl.50.2.318

[20]C. G. Goetz, S. Fahn, P. Martinez-Martin, W. Poewe, C. Sampaio, G. T. Stebbins et al., Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Process, format, and clinimetric testing plan, Movement Disorders, vol. 22, pp. 41–47, 2007.

[21]S. Fahn, R. Elton, and Members of the UPDRS Development Committee, Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS), In: Fahn S, Marsden C.D., Calne D.B., Goldstein M., editores. Recent developments in Parkinson's disease, vol. 2, pp. 153–163, 293–304, 1987.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[22]Brian ED Kingsbury, Nelson Morgan, and Steven Greenberg. Robust speech recognition using the modulation spectrogram. Speech communi-cation, 25(1-3):117–132, 1998.

[23]Steven Greenberg and Brian Kingsbury. The modulation spectrogram: in pursuit of an invariant representation of speech. 1997 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 3:1647–1650 vol.3, 1997.

[24]Torghabeh, F. A., Hosseini, S. A., & Moghadam, E. A. (2023). Enhancing Parkinson's disease severity assessment through voice-based wavelet scattering, optimized model selection, and weighted majority voting. Medicine in Novel Technology and Devices, 20, 100266.

[25]Kodali, M., Kadiri, S. R., & Alku, P. (2024). Automatic classification of the severity level of Parkinson's disease: A comparison of speaking tasks, features, and classifiers. Computer Speech & Language, 83, 101548.

[26]Torghabeh, F. A., Hosseini, S. A., & Moghadam, E. A. (2023). Enhancing Parkinson's disease severity assessment through voice-based wavelet scattering, optimized model selection, and weighted majority voting. Medicine in Novel Technology and Devices, 20, 100266.

[27]Solana-Lavalle, G., & Rosas-Romero, R. (2021). Analysis of voice as an assisting tool for detection of Parkinson's disease and its subsequent clinical interpretation. Biomedical Signal Processing and Control, 66, 102415.

[28]Jeancolas, L., Benali, H., Benkelfat, BE, Mangone, G., Corvol, JC, Vidailhet, M., y Petrovska-Delacrétaz, D. (mayo de 2017). Detección automática de las primeras etapas de la enfermedad de Parkinson mediante análisis acústico de la voz con coeficientes cepstrales de frecuencia mel. En la Conferencia Internacional sobre Tecnologías Avanzadas para el Procesamiento de Señales e Imágenes (ATSIP) de 2017 (pp. 1-6). IEEE.

[29]Jayashree, R. J., Ganesh, S., Karanth, S. C., & Lalitha, S. (2021). Automatic detection of parkinson speech under noisy environment. In Advances in Computing and Network Communications: Proceedings of CoCoNet 2020, Volume 2 (pp. 179-191). Singapore: Springer Singapore.

[30]Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in neural information processing systems, 25.

[31]Guatelli, R., Giuliano, M., Aubin, V., Fernández, L., Pepe, L. & Pérez, S. (2022). Análisis comparativo entre CNN y Modelos Logísticos para detección de la Enfermedad de Parkinson utilizando la voz. In X Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CONAIISI 2022). pp. 299-305. DOI: 10.33414/ajea.1146.2022

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Diseño con Arquitectura Empresarial de un sistema de gestión del conocimiento para empresas agroindustriales

**Dorigatti, Mariana Carolina**
**Rojas, Cristina**
**Zelaya, Noelia Judith**

**Resumen**
*La gestión del conocimiento en el sector agroindustrial enfrenta limitaciones asociadas a la transmisión informal de saberes, la estacionalidad productiva y la alta rotación de personal, factores que afectan la seguridad, la productividad y la estandarización de procesos. Para abordar esta problemática se propone el diseño e implementación de un Sistema de Gestión del Conocimiento (KMS), basado en el modelo holístico de Ángulo y Negrón, que integra cinco fases: socialización, creación, modelado, difusión y aplicación. La metodología contempló el desarrollo de una plataforma web con módulos para la gestión de información técnica, el intercambio colaborativo y la evaluación del personal. El sistema resultante constituye una solución robusta que facilita foros de discusión, gestión de recursos multimedia, evaluaciones, encuestas y entrevistas para la captura de conocimiento tácito. Además, incorpora perfiles diferenciados de usuario (administrador y usuario final) con funcionalidades específicas, incluyendo la sugerencia personalizada de información por categorías.*

**Palabras Clave**
Gestión del conocimiento, procesos del conocimiento, gestión del conocimiento.

## Introducción

En el sector agroindustrial, gran parte del conocimiento de los trabajadores se transmite de manera informal e implícita, lo que dificulta su sistematización y la adopción de mejores prácticas. Incluso, en ciertos casos, este flujo de información puede ser mínimo o inexistente, lo que incrementa el riesgo de pérdida de saberes críticos y limita la posibilidad de generar procesos de mejora continua.
La ausencia de una gestión estructurada genera riesgos para la seguridad laboral, afecta la productividad e interrumpe la continuidad de los procesos, especialmente en un contexto marcado por la estacionalidad y la rotación de personal.
Ante este escenario, la incorporación de herramientas y modelos de Gestión del Conocimiento se presenta como una estrategia clave para preservar el saber técnico, promover entornos colaborativos y garantizar el acceso oportuno a materiales formativos. En este trabajo se propone el diseño e implementación de un modelo de gestión del conocimiento basado en el enfoque holístico de Ángulo y Negrón.

## Método

En la sociedad del conocimiento, la generación, procesamiento, transmisión y transferencia de información y saber se constituyen en las principales fuentes de productividad y poder [1][2]. Por esta razón, el conocimiento es considerado uno de los activos más valiosos de las organizaciones, y su adecuada gestión resulta fundamental para su desarrollo y competitividad.
La gestión del conocimiento se define como el conjunto de actividades que se desarrollan en el interior de una organización para utilizar, compartir y desarrollar los saberes que poseen sus integrantes, con el propósito de orientarlos hacia el logro de los objetivos organizacionales [3].
En este contexto, surge un concepto fundamental: los Sistemas de Gestión del Conocimiento (KMS). Estos sistemas desempeñan un papel crucial en las organizaciones al facilitar la creación,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



almacenamiento, transferencia y aplicación del conocimiento en la práctica profesional [4]. Los KMS actúan como canales que integran y estructuran el conocimiento, promoviendo además la incorporación de inteligencia artificial para optimizar los modelos de negocio y los procesos operativos dentro de la organización.

A lo largo del tiempo, diversos autores han propuesto distintos sistemas de gestión del conocimiento. Entre los más actuales se destacan:

-"El modelo SECI de Nonaka y Takeuchi"
-"El modelo de Wiig"
- "El modelo de ciclo de vida de Meyer y Zack"
-"El modelo de Davenport y Prusak"
-"El modelo holístico de Ángulo y Negrón"

Cada uno de estos marcos de trabajo presenta características y particularidades propias.

Tras una exhaustiva investigación de los distintos modelos, se decidió aplicar para el desarrollo de este trabajo el modelo holístico de Ángulo y Negrón, diseñado para organizaciones que consideran el conocimiento de sus trabajadores como un activo intangible.

Asimismo, este modelo reconoce la gestión del conocimiento como un proceso continuo e inagotable, razón por la cual sus etapas se representan en forma cíclica, tal como se ilustra en la Figura 1.

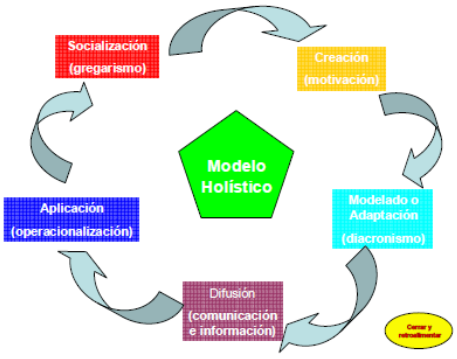



Figura 1. Modelo de Angulo y Negrón

Modelo holístico de Angulo y Negrón

Los autores de este marco de trabajo proponen 5 etapas:

-Socialización
-Creación
-Modelado o Adaptación
-Difusión
-Aplicación

-Socialización

Las personas son producto de múltiples factores, entre los que se incluyen aspectos sociales, culturales, biológicos, entre otros. Chinoy, citando a Piaget, sostiene que la personalidad de los individuos es el resultado del proceso de socialización [5]. Por tanto, resulta evidente que la gestión del conocimiento debe tener en cuenta esta dimensión humana.

Se diferencian dos tipos de conocimiento: tácito y explícito. El conocimiento tácito es un tipo de capital intelectual, no monetario y de gran valor intangible; es decir, es invalorable, dado que se trata de un conocimiento que el individuo tiene internalizado. El conocimiento explícito es fácilmente comunicable y transferible entre individuos, a menudo a través de la tecnología.

-Creación

El conocimiento ha existido siempre y se genera como resultado de la interacción social. Asimismo es el producto de las experiencias personales, pensamientos y creencias de los individuos.

-Modelado o Adaptación

La gestión del conocimiento debe contemplar el nivel de innovación que ésta conlleva. Antes de desarrollar este modelo innovador, se realizó un estudio detallado de sus antecedentes y características.

-Difusión

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En la gestión del conocimiento, la difusión del conocimiento resulta fundamental, y para que esta se produzca es necesario contar con mecanismos adecuados para la transmisión de la información.
En este sentido, Ángulo y Negrón destacan la importancia de las Instituciones de Educación Superior como centros neurálgicos del conocimiento. Es imprescindible contar con herramientas que faciliten la comunicación, la vinculación, la negociación y la transferencia del conocimiento.
-Aplicación
Este marco de trabajo facilita la creación de nuevo conocimiento; sin embargo, es fundamental su aplicación práctica para evaluar su eficacia.
En las Instituciones de Educación Superior, existen diversas formas de generar y aplicar dicho conocimiento. En este contexto, los docentes desempeñan un papel clave, siendo responsables tanto de la generación de nuevo conocimiento como de la identificación de alternativas innovadoras para su aplicación en la resolución de problemáticas concretas y en el desarrollo de procesos de gestión.

**Resultados**

El desarrollo de este proyecto culminó en el desarrollo de una solución informática integral para la gestión del conocimiento en el sector agroindustrial. Esta plataforma web fue diseñada para abordar desafíos críticos como la alta rotación de personal, la dispersión de información técnica y la necesidad de capacitación especializada.
En el diseño y desarrollo de esta plataforma se implementaron numerosas herramientas. Para el diseño de la base de datos se utilizó MySql Workbench. A continuación se visualiza el modelo relacional simplificado:

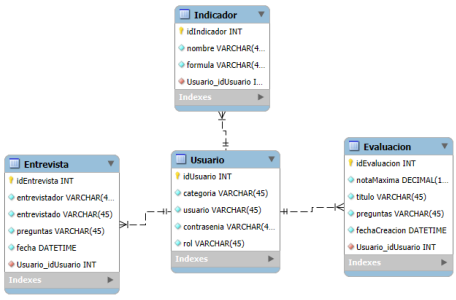



Figura 2. Modelo relacional simplificado

Los resultados obtenidos demuestran la funcionalidad y robustez del sistema, destacando las siguientes capacidades:

-Módulos de Gestión del Conocimiento: Se implementaron módulos clave para la organización, preservación y compartición del conocimiento.

-Foro: permite a los usuarios crear, visualizar, editar y eliminar comentarios, facilitando el intercambio de experiencias, como se observa en la Figura 3.




Figura 3. Foro de comentarios

-Videos y diagramas: Gestiona la adición, visualización, edición y eliminación de diagramas y videos, asegurando que la información esté actualizada y accesible.

-Evaluaciones: habilita la creación, visualización, edición y eliminación de evaluaciones, permitiendo también a los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



usuarios responderlas para medir el nivel de conocimientos (Figura 4 y Figura 5).

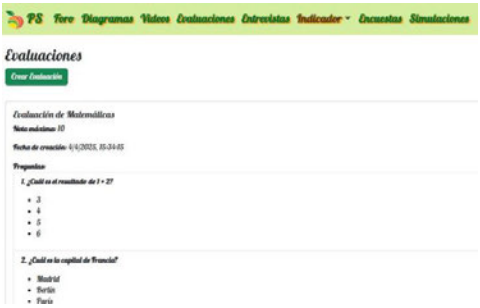



Figura 4. Evaluaciones




Figura 5. Creación de evaluaciones

-Entrevistas: se visualiza la posibilidad de crear, visualizar, editar y eliminar entrevistas, con la funcionalidad de registrar respuestas para capturar conocimiento tácito (Figura 6).

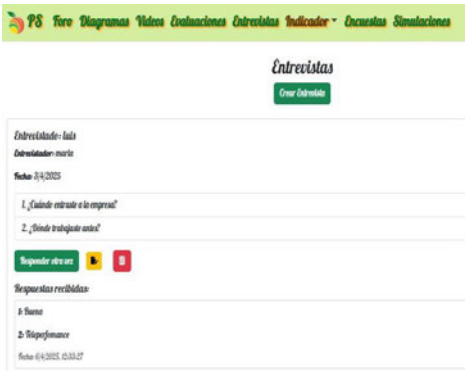



Figura 6. Entrevistas

-Encuestas: Facilita la creación, visualización, edición y eliminación de encuestas, promoviendo el intercambio de experiencias y la resolución conjunta de problemas (Figura 7).




Figura 7. Encuestas

-Simulaciones: Permite la planificación, visualización, edición y eliminación de estas planificaciones.

-Indicadores:Ofrece la capacidad de agregar, visualizar, editar y eliminar indicadores con sus fórmulas, incluyendo la visualización de gráficos de torta (Figura 8 y Figura 9).




Figura 8. Indicadores




Figura 9. Gráficos de torta de los indicadores

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Perfiles de usuario diferenciados: Admin y User. El rol Admin posee capacidades de creación, lectura, actualización y eliminación (CRUD) sobre todos los módulos de gestión del conocimiento. El rol User tiene acceso para visualizar videos, comentar en el foro, responder encuestas y evaluaciones. Además, los usuarios con rol User visualizan sus indicadores clave de rendimiento (KPI) relacionados con el promedio de sus notas de evaluación.
Sugerencias de Información por Categoría: Una funcionalidad distintiva para el rol User es la sugerencia de información personalizada al iniciar sesión, basada en su categoría asignada (ejemplo: comercial, producción). Estas sugerencias se presentan como enlaces a páginas de interés relevantes para cada categoría (Figura 10).

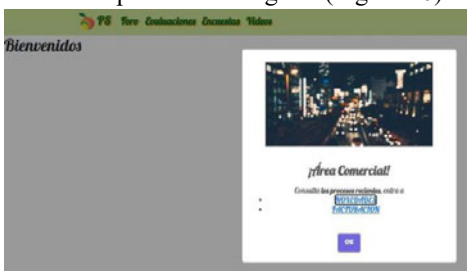



Figura 10. Sugerencia de información para el usuario con categoría comercial.

La Figura 11 muestra cómo la Arquitectura Empresarial constituye el marco que posibilita una gestión efectiva del conocimiento. En ella, los procesos de socialización, creación, modelado, difusión y aplicación se desarrollan dentro de este esquema. En el lado izquierdo se destacan los cuatro pilares fundamentales: arquitectura de información, de negocio, de aplicaciones y tecnológica. Asimismo, se incorpora el componente “Sistema web”, herramienta que respalda dichos procesos al almacenar, organizar y transmitir el conocimiento explícito, evidenciando el rol de la arquitectura tecnológica en la habilitación de las capacidades de gestión del conocimiento.

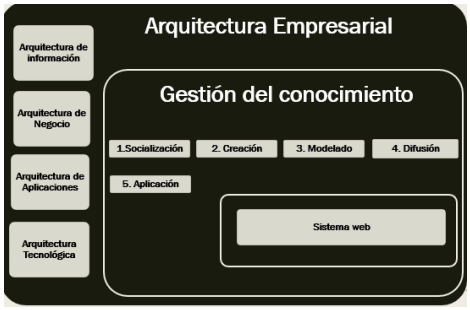



Figura 11 .Relación entre Arquitectura Empresarial, Gestión del conocimiento y el sistema web.

**Conclusión**

La investigación y desarrollo del presente trabajo concluyeron en la creación de una herramienta de software destinada a la gestión del conocimiento dentro del ámbito agroindustrial, logrando los fines propuestos en la fase inicial.
El sistema desarrollado brinda una plataforma web funcional, accesible y adaptable, que permite organizar, preservar y compartir el conocimiento organizacional de manera eficiente.
En la fase inicial se llevó a cabo el análisis y relevamiento de las necesidades del sector agroindustrial, en donde se identificaron: falta de capacitación continua, exceso de conocimiento tácito y alta rotación de personal. Se consideró toda esta información recolectada para el diseño y desarrollo del sistema web. El resultado fue un aplicativo web con una interfaz intuitiva y organizada con el fin de facilitar el acceso a la información y la compartición de conocimiento. Los módulos que se llegaron a desarrollar son los de gestión de usuarios, entrevistas, evaluaciones, encuestas,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



repositorio documental y foros, todos orientados a facilitar la capacitación, la colaboración entre equipos y la toma de decisiones basada en información estructurada.

En síntesis, el desarrollo de este sistema web representa una contribución significativa a la gestión del conocimiento en el contexto de la agroindustria, promoviendo la estandarización de procesos, la transferencia de saberes y el aprendizaje colaborativo.

**Referencias**

[1] J. López, I. Leal, Cómo aprender en la sociedad del conocimiento, Primera edición. España: Ediciones Gestión 2000, 2002.

[2] M. Castells, La era de la información: La sociedad red. Segunda Edición. Madrid: Editorial Alianza, 2000.

[3] J. C. Guevara, J. Lara, y C. A. Moque, "Sistema de gestión de conocimiento para apoyar el trabajo de grupos de investigación," Tecnura, vol. 16, no. 33, pp. 83-99, jul.-sep. 2012.

[4] R. Camacho, "Impacto de los sistemas de gestión del conocimiento (KMS) en la investigación científica: un estudio bibliométrico," Universita Ciencia, vol. 12, no. 34, pp. 102–116, mayo-agosto 2024. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.5281/zenodo.12802469

[5] [1] E. Angulo y M. Negrón, “Modelo holístico para la gestión del conocimiento,” Revista Negotium, vol. 11, no. 4, pp. 38–51, 2008. [En línea]. Disponible en: www.revistanegotium.org.ve

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# *Hacia una Evaluación Integral: Desarrollo de un Modelo de Calidad para Simuladores Clínicos en Enfermería*

*María A. Ojeda[1], Ana Garis[2], Carlos Salgado[2], María C. Albornoz[2]*
*[1] Facultad de Cs. de la Salud, Universidad Nacional de San Luis*
*[2] Facultad de Cs. Físico-Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis*
*{maojeda,agaris,csalgado,albornoz}@unsl.edu.ar*

## Resumen

*El software de simulación clínica se ha consolidado como un recurso esencial en la formación de profesionales de Enfermería, al permitir la práctica segura de procedimientos y la toma de decisiones en entornos controlados. Sin embargo, su creciente uso plantea un desafío: evaluar su calidad de manera integral, considerando no solo el rendimiento técnico, sino también su valor pedagógico y su pertinencia para el desarrollo de competencias.*

*Este trabajo presenta un modelo de evaluación basado en la norma internacional ISO/IEC 25010, adaptado al contexto educativo en salud. La propuesta combina criterios técnicos como funcionalidad, usabilidad y fiabilidad con aspectos formativos, evaluando la coherencia del software con los objetivos de aprendizaje y su capacidad para potenciar la práctica profesional.*

*El objetivo es ofrecer un marco claro y aplicable que oriente a instituciones, docentes y desarrolladores en la selección, implementación y mejora de simuladores clínicos. De este modo, se promueve que estas plataformas alcancen excelencia técnica y relevancia educativa, respondiendo a las necesidades reales de la formación en Enfermería y contribuyendo a una educación más efectiva, pertinente y orientada a la excelencia en el cuidado de la salud.*

## Introducción

En los últimos años, la simulación clínica ha emergido como una metodología educativa transformadora en la formación de profesionales de Enfermería. Esta estrategia permite recrear, en entornos controlados y seguros, escenarios clínicos complejos que facilitan el desarrollo de competencias técnicas, comunicacionales, éticas y reflexivas. Desde la resolución de crisis asistenciales hasta la comunicación efectiva con pacientes, los simuladores brindan una plataforma donde los estudiantes pueden practicar, equivocarse y aprender sin comprometer la seguridad del entorno real.

El software que potencia estos simuladores se sitúa en el centro de esta experiencia formativa: es el mediador entre el estudiante, el escenario clínico y el docente. Pero esta relevancia trae consigo una pregunta esencial: ¿cómo garantizamos que estas herramientas digitales cumplan con estándares de calidad robustos, que aseguren tanto funcionamiento confiable como pertinencia pedagógica? La calidad del software no se limita a la ausencia de defectos, sino que abarca atributos como la usabilidad, confiabilidad, seguridad, performance, mantenibilidad y portabilidad, junto con su capacidad para responder a las dinámicas pedagógicas y éticas del cuidado en salud.

En este contexto, el modelo ISO/IEC 25010[1] se presenta como un marco de referencia ampliamente adoptado para evaluar la calidad del software. Define ocho características principales: funcionalidad, eficiencia del desempeño, compatibilidad, usabilidad, confiabilidad, seguridad, mantenibilidad y portabilidad [2-3]. Su fuerza radica en ofrecer una perspectiva integral del producto, alineando criterios técnicos con la experiencia real de usuarios y sistemas.

Diversas investigaciones respaldan su utilidad en contextos técnicos, educativos y clínicos. Por ejemplo, Moumane et al. [4] evaluaron aplicaciones móviles para salud reproductiva utilizando ISO/IEC 25010 y 25023, encontrando debilidades en eficiencia y seguridad que limitaban su utilidad en entornos sensibles. Asimismo, Redkovska y Fedukhin [5] incorporaron enfoques atributivos centrados en confiabilidad, disponibilidad y protección de datos, fundamentales en sistemas clínicos críticos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En la formación clínica, trabajos como Astudillo Araya et al. [6] revelaron que el uso de simuladores mejora la confianza y las decisiones estudiantiles, pero destacaron la necesidad de evaluaciones técnicas sistemáticas basadas en estándares como ISO/IEC 25010. En el ámbito universitario argentino, Lamas [7] señaló que, aunque se valora el aporte pedagógico de los simuladores, la falta de criterios técnicos estandarizados genera heterogeneidad en la calidad del software utilizado.

Asimismo, la evolución tecnológica requiere que este modelo se adapte a contextos emergentes. Natale [8] propuso extender ISO/IEC 25010 para incluir subcaracterísticas relacionadas con responsabilidad ética, explicabilidad y equidad en sistemas de inteligencia artificial, lo que resulta determinante en la salud digital actual. Por otro lado, Cai, Sun y Dobbie [9] demostraron que es viable definir métricas cuantitativas automatizables que evalúan atributos como fiabilidad y mantenibilidad en sistemas formales, apoyándose en ISO/IEC 25010 [1].

Una perspectiva pedagógica, Solís Cabrera et a [10] integraron la notación i* con ISO/IEC 25010 para desarrollar un modelo de evaluación de objetos de aprendizaje que vincula metas educativas con criterios técnicos, facilitando decisiones de diseño y selección de recursos digitales [11]. Asimismo, Calabrese et al. [12] crearon un asistente automático basado en ISO/IEC 25010 y el modelo GQM (Goal-Question-Metric), que permitió evaluaciones estructuradas en contextos con recursos limitados [13]. Cook et al. [14] desarrollaron una rúbrica para evaluar simuladores clínicos de Enfermería, combinando criterios técnicos como tiempo de respuesta y realismo con dimensiones pedagógicas, mostrando que esta integración mejora la eficacia del software.

En contextos específicos, Oliveira et al. [15] evaluaron un sistema electrónico de documentación del proceso de Enfermería utilizando los estándares ISO/IEC 25010 y 25040. Encontraron que, aunque los evaluadores valoraron la funcionalidad y usabilidad del sistema, aspectos como eficiencia, confiabilidad y compatibilidad quedaron por debajo de los parámetros esperados [16].

Finalmente, desde un enfoque más técnico, Molnar et al. [16] exploraron la vinculación de métricas con subcaracterísticas de ISO/IEC 25010 en aplicaciones complejas a lo largo del tiempo, concluyendo que aunque el modelo es sólido, la variabilidad de plataformas y lenguajes dificulta la estandarización de métricas[16]. Mientras tanto, Patil [17] revisó el vínculo entre los modelos basados en LLM (modelos de lenguaje) y estándares de aseguramiento de calidad, incluyendo ISO/IEC 25010, lo que sugiere oportunidades para automatizar aspectos de control y evaluación técnica[17].

## Trabajos Relacionados

La evaluación de la calidad del software ha sido un campo de creciente interés en los últimos años, especialmente en entornos educativos y de salud. El modelo ISO/IEC 25010 se ha consolidado como marco normativo de referencia, al contemplar características fundamentales como funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, seguridad, mantenibilidad y portabilidad. Su versatilidad ha permitido su aplicación en diversos contextos, aunque su adaptación al ámbito de la simulación clínica en enfermería aún se encuentra en desarrollo.

En el área de la salud, distintos estudios han explorado la aplicabilidad de este modelo en productos digitales. Moumane et al. [5] evaluaron aplicaciones móviles orientadas a la salud reproductiva mediante ISO/IEC 25010 y 25023, identificando limitaciones en seguridad y eficiencia, lo que llevó a recomendar la integración temprana de atributos de calidad en el ciclo de vida del software. De manera complementaria, Redkovska y Fedukhin [4] diseñaron un modelo atributivo para sistemas clínicos críticos, enfocado en confiabilidad y protección de datos, evidenciando que la incorporación de métricas fortalece la estabilidad y disponibilidad del software sanitario. Estos trabajos reflejan que el modelo ISO/IEC 25010 ofrece un marco robusto, aunque requiere ajustes para responder a las particularidades del sector salud.

El ámbito educativo también ha mostrado interés en integrar este estándar. Solís Cabrera et al. [10] propusieron un modelo de evaluación de objetos de aprendizaje basado en ISO/IEC 25010, donde se articularon criterios pedagógicos y técnicos. Sus hallazgos confirmaron que la trazabilidad entre objetivos de enseñanza y atributos de calidad es posible mediante una rúbrica validada, lo cual aporta un valor metodológico para entornos formativos. De forma similar, Calabrese et al. [12] desarrollaron un asistente automático de evaluación educativa, apoyado en ISO/IEC 25010 y en el enfoque GQM, concluyendo que la automatización mejora la eficiencia de la evaluación y facilita su implementación en instituciones con recursos limitados.

En contextos de simulación, la literatura ha señalado tanto avances como vacíos. Astudillo Araya et al. [6] exploraron la percepción de estudiantes de enfermería frente al uso de simuladores clínicos antes y después de sus prácticas, concluyendo que estas herramientas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



fortalecen la confianza y la toma de decisiones, aunque advirtieron sobre la necesidad de evaluarlas rigurosamente con marcos como ISO/IEC 25010. Por su parte, Cook et al. [14] diseñaron una rúbrica de evaluación técnico-pedagógica de simuladores, resaltando métricas como el realismo, la retroalimentación y el tiempo de respuesta como factores decisivos en la efectividad del aprendizaje. Estos aportes confirman que el software de simulación no puede ser evaluado solo desde lo técnico, sino también desde su capacidad pedagógica y de inmersión.

A nivel internacional, se observa una tendencia hacia la adaptación del modelo de calidad a nuevos escenarios tecnológicos. Natale [8], por ejemplo, subrayó la necesidad de expandir ISO/IEC 25010 en el contexto de la inteligencia artificial, incorporando dimensiones como explicabilidad y equidad algorítmica, lo que evidencia que los estándares deben evolucionar junto a las demandas éticas y sociales actuales. En la misma línea, Cai, Sun y Dobbie [9] desarrollaron métricas cuantitativas basadas en ISO/IEC 25010 para evaluar software formal, demostrando la aplicabilidad del estándar en entornos complejos y técnicos, más allá de los productos convencionales.

En cuanto a aplicaciones regionales, Lamas [7] realizó un estudio cualitativo en Argentina sobre el uso de simuladores en programas de enfermería, mostrando que la mayoría de las instituciones seleccionaban herramientas sin un análisis técnico riguroso, lo que generaba heterogeneidad en la calidad de la experiencia formativa. Esta carencia de criterios estandarizados ha sido también señalada en otros contextos latinoamericanos, donde las decisiones de adopción se basaron más en factores económicos o institucionales que en evaluaciones sistemáticas de calidad [18-19].

En síntesis, la revisión de la literatura evidencia que el estándar ISO/IEC 25010 ha sido ampliamente explorado en educación y salud, aunque de manera fragmentada. Existen experiencias valiosas que muestran su potencial, pero también limitaciones relacionadas con su falta de contextualización a escenarios interactivos como los de la simulación clínica. Mientras que algunos autores han propuesto modelos híbridos que integran criterios pedagógicos y técnicos [10-14], otros destacan la necesidad de incorporar nuevas métricas adaptadas a entornos de alta criticidad, como el sanitario [4-8]. En el ámbito de la enfermería en Argentina, la falta de lineamientos institucionales y de capacitación docente en evaluación de software refuerza la urgencia de desarrollar un modelo integral, específico y contextualizado, que sirva de puente entre estándares internacionales y realidades locales.

## Calidad de procesos, servicios y productos en el Modelo de Calidad

La calidad en el ámbito del software no puede reducirse a la percepción subjetiva de los usuarios ni a la mera ausencia de fallos técnicos. De acuerdo con la ISO 9000, calidad se entiende como el grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos establecidos ISO, 2015. En el caso de los simuladores clínicos en enfermería, la calidad implica responder de manera equilibrada a las necesidades técnicas, pedagógicas y contextuales de docentes y estudiantes, garantizando que la herramienta no solo funcione correctamente, sino que también facilite un aprendizaje significativo y seguro.

Medir la calidad supone contar con un proceso sistemático que traduzca atributos complejos en evidencias observables y evaluables. La medición, en términos de software, se define como el proceso de asignar números o símbolos a los atributos de entidades de manera que describan propiedades específicas según reglas claramente establecidas [20]. Sin embargo, en educación en salud no se trata únicamente de cuantificar, sino de comprender cómo esas mediciones impactan en la práctica formativa y clínica.

Para operacionalizar la medición, los modelos de calidad utilizan métricas e indicadores. Una métrica es una medida cuantitativa que captura un aspecto particular de la calidad del software, por ejemplo, el tiempo de respuesta promedio de un simulador o la cantidad de errores de registro durante una sesión [20]. Los indicadores, en cambio, permiten interpretar esas métricas en función de metas u objetivos predefinidos, como establecer que un tiempo de respuesta inferior a dos segundos refleja eficiencia aceptable, o que un porcentaje de fallos menor al 5% indica confiabilidad suficiente Kitchenham et al., [22]. La distinción entre ambos conceptos es clave: la métrica describe, mientras que el indicador orienta la toma de decisiones.

Un modelo de calidad es, en este sentido, un marco estructurado que organiza y relaciona las características de calidad, sus subcaracterísticas y las métricas asociadas. El modelo ISO/IEC 25010 constituye el referente más utilizado a nivel internacional, pues establece ocho dimensiones principales de calidad que permiten analizar un producto de manera integral ISO/IEC,[1]. No obstante, su aplicación en simulación clínica requiere ajustes que contemplen elementos como realismo, accesibilidad y retroalimentación pedagógica. Nuestro Modelo de Calidad busca precisamente tender ese puente entre lo normativo y lo contextual, ofreciendo criterios adaptados a la formación en enfermería.

La calidad de procesos en este modelo se refiere a la manera en que se planifica, desarrolla y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mantiene el software. Procesos claros, documentados y validados con la comunidad académica aseguran que el producto final sea trazable y sostenible. La incorporación de prácticas de mejora continua y de retroalimentación constante con usuarios finales fortalece la pertinencia pedagógica y técnica de los simuladores, Chrissis, Konrad, & Shrum, [23].

La calidad de los servicios implica el soporte que acompaña al software durante su uso, desde la capacitación inicial hasta el mantenimiento técnico. Numerosos estudios han demostrado que la falta de formación docente en evaluación y uso de simuladores limita su efectividad Jeffries [24 - 14]. Por ello, el modelo contempla no solo el soporte técnico, sino también la construcción de comunidades de práctica y la generación de materiales didácticos claros que favorezcan la integración de la tecnología en el aula.

La calidad del producto, por su parte, se centra en los atributos intrínsecos del software. Un simulador clínico debe ser funcional, confiable, usable y seguro, pero también debe ofrecer realismo en los escenarios, retroalimentación inmediata y accesibilidad para estudiantes con distintas necesidades. Estos atributos se transforman en indicadores verificables a través de métricas específicas, como la tasa de errores de simulación, la satisfacción de los estudiantes con la interfaz o la compatibilidad con diversas plataformas tecnológicas [5-6].

En síntesis, la calidad en el Modelo Integral se concibe como un entramado entre procesos bien estructurados, servicios de apoyo sólidos y productos robustos, donde la medición mediante métricas e indicadores garantiza objetividad y mejora continua. Este enfoque no solo asegura la excelencia técnica, sino que también humaniza la evaluación al vincularla con la experiencia de docentes y estudiantes en contextos de aprendizaje clínico.

## Herramientas para la Simulación Clínica

Las herramientas de simulación clínica constituyen un componente esencial en la formación de profesionales de enfermería, dado que permiten recrear escenarios de atención en entornos controlados, seguros y pedagógicamente guiados. Estas tecnologías se clasifican generalmente en simuladores de baja fidelidad, media fidelidad, alta fidelidad y simuladores virtuales, cada uno con aportes específicos según el nivel de realismo, competencias a desarrollar y recursos disponibles, Jeffries [24-25]. Su integración en los programas académicos no solo facilita la adquisición de habilidades técnicas y cognitivas, sino que también potencia la capacidad de análisis crítico, la toma de decisiones y la práctica segura antes de interactuar con pacientes reales.

Los simuladores de baja fidelidad incluyen modelos anatómicos básicos, tales como brazos para punciones o torsos para prácticas de reanimación cardiopulmonar. Su principal utilidad radica en permitir la repetición de procedimientos esenciales, consolidando la precisión y confianza del estudiante en las habilidades motoras necesarias para la atención clínica. Estos simuladores, aunque limitados en términos de retroalimentación fisiológica, constituyen una herramienta inicial fundamental en la curva de aprendizaje, reduciendo la ansiedad del estudiante y minimizando riesgos en entornos reales.



**Figura 1. Simulador anatómico de baja fidelidad para entrenamiento de punciones venosas. Fuente: Syncrotech (2025)**

Los simuladores de media fidelidad incorporan componentes electrónicos que permiten reproducir respuestas fisiológicas básicas, como ruidos cardíacos, respiratorios o intestinales, y ciertas reacciones al tratamiento. Este tipo de simuladores se utiliza principalmente para la práctica de valoración clínica y habilidades semiológicas, equilibrando realismo y accesibilidad tecnológica. Permiten a los estudiantes observar cómo sus intervenciones afectan las condiciones simuladas del paciente, facilitando la comprensión de la relación causa-efecto en un entorno seguro.




**Figura 2. Simulador de media fidelidad con retroalimentación de sonidos fisiológicos.**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Fuente: Syncrotech (2023).**

Los simuladores de alta fidelidad representan la opción más avanzada y compleja. Son maniquíes computarizados capaces de replicar funciones fisiológicas completas, responder a intervenciones médicas y generar escenarios clínicos dinámicos y complejos. Su uso está ampliamente validado para entrenar la toma de decisiones en situaciones críticas, emergencias y trabajo en equipo interprofesional. Estos simuladores permiten evaluar no solo la precisión técnica, sino también la comunicación, el liderazgo y la coordinación, habilidades esenciales en la práctica clínica real.



**Figura 3**. Simulador de alta fidelidad para entrenamiento en emergencias.Fuente: Gaumard (2025).

En paralelo, los simuladores virtuales y de realidad aumentada (AR) ofrecen entornos digitales inmersivos que permiten a los estudiantes interactuar con pacientes virtuales en escenarios clínicos realistas. Este tipo de herramientas favorece la práctica autónoma, la retroalimentación inmediata y la repetición de escenarios críticos sin riesgos para los pacientes reales. Además, incorporan elementos de gamificación, seguimiento de progresos y análisis de decisiones, reforzando el aprendizaje de competencias cognitivas y éticas (Cant & Cooper, [26]).



**Figura 4**. Entorno de simulación virtual para enfermería Fuente: Body Interact (2023).

**Tabla 1.** Clasificación de simuladores clínica en enfermería

| Tipo de Simulador | Ejemplos | Principales usos | Nivel de calidad | Costo estimado |
|---|---|---|---|---|
| Baja fidelidad | Modelos anatómicos para punción, torso para RCP básico | Entrenamiento de técnicas básicas: punciones suturas, higiene | Bajo | Bajo |
| Media fidelidad | Simuladores con sonidos cardíacos y respiratorios (Laerdal Nursing Anne) | Prácticas de valoración clínica y habilidades semiológicas | Medio | Medio |
| Alta fidelidad | Sim 3G(Laerdal) | Simulación de emergencias, toma de decisiones , trabajo en equipo | Alto | Alto |
| Simulación virtual | BodyInteract, VSim Nursing | Escenarios clínicos interactivos, práctica autónoma, retroalimentación inmediata | Variable | Bajo a medio |
| Plataforrmas híbridos | OMNI 2 (CAE Healthcare) | Integración de monitorización clínica avanzada y escenarios digitales | Alto | Alto |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Fuente:** Adaptado de Jeffries (2012), INACSL (2021), Laerdal (2023), CAE Healthcare (2023), Body Interact (2023).

La efectividad de estas herramientas depende de múltiples factores, incluyendo la usabilidad, la estabilidad del software, la fidelidad del simulador y la alineación con los objetivos pedagógicos. Evaluarlas mediante un modelo integral de calidad asegura que los recursos no solo sean técnicamente confiables, sino que también cumplan con su función educativa, mejorando la seguridad del estudiante y, en última instancia, la calidad de la atención al paciente. De esta manera, las herramientas de simulación clínica no solo fortalecen competencias técnicas, sino que también constituyen un recurso estratégico en la planificación educativa y en la evaluación continua del aprendizaje**.**

## Metodología

Se implementó un diseño de investigación mixto que integra:

- Análisis documental: Revisión sistemática de especificaciones técnicas, manuales de usuario y documentación académica del sistema NOELLE® S550.100 OMNI 2
- Evaluación experimental: Pruebas controladas en ambiente de laboratorio de simulación
- Instrumentación cuantitativa: Aplicación de métricas de rendimiento, cronometraje de procesos y monitorización de recursos del sistema
- Evaluación cualitativa: Encuestas estructuradas y entrevistas con docentes y estudiantes usuarios del sistema

## Modelo de calidad propuesto

El Modelo Integral de Calidad para software de simulación clínica en enfermería se fundamenta en la norma ISO/IEC 25010, pero adaptado al contexto sanitario y educativo. Cada característica se concibe como una dimensión clave que permite evaluar el software no solo desde lo técnico, sino también desde lo pedagógico.

1. **Adecuación funcional:** Esta característica evalúa la capacidad del software para cumplir con los propósitos específicos para los cuales fue diseñado. En el caso de los simuladores clínicos, se refiere a su pertinencia para representar situaciones reales de la práctica de enfermería y a la fidelidad de sus funcionalidades respecto a los objetivos curriculares.
2. **Usabilidad:** mide el grado en que los usuarios pueden aprender a utilizar el simulador de manera rápida, sencilla y eficaz. Incluye la facilidad de aprendizaje, la operabilidad del sistema, la satisfacción percibida por los estudiantes y la capacidad de adaptación a distintos perfiles de usuario, lo que resulta crucial en entornos educativos diversos.
3. **Fiabilidad:** Se entiende como la capacidad del software para mantener un desempeño estable y libre de fallos críticos durante su uso. En contextos de simulación clínica, la fiabilidad es determinante, ya que cualquier error o interrupción puede afectar la experiencia formativa, la seguridad de los datos y la confianza de los usuarios.
4. **Eficiencia de desempeño**: Esta característica se vincula con el uso óptimo de los recursos informáticos disponibles y la rapidez con que el sistema responde a las acciones del usuario. En el caso de los simuladores, un desempeño eficiente garantiza fluidez en las prácticas y evita interrupciones que puedan limitar el aprendizaje.
5. **Seguridad**: Se refiere a la capacidad del software para proteger la información y los datos sensibles. En la formación en enfermería, los simuladores pueden involucrar registros clínicos ficticios o información personal de los estudiantes, lo que exige niveles de confidencialidad, integridad y trazabilidad.
6. **Compatibilidad e interoperabilidad:** Esta característica evalúa la posibilidad de que el simulador pueda integrarse con otras plataformas educativas, sistemas de gestión académica o equipamiento clínico. recursos tecnológicos de las instituciones.
7. **Mantenibilidad:** Hace referencia a la facilidad con que el software puede ser corregido, modificado o mejorado. En entornos dinámicos como la educación en salud, donde los contenidos clínicos y normativos cambian constantemente, la mantenibilidad es esencial para garantizar la actualización y vigencia del simulador.
8. **Portabilidad:** La portabilidad se asocia con la capacidad del software de ser utilizado en diferentes entornos y plataformas sin pérdida de funcionalidad. Este aspecto permite ampliar el acceso a los simuladores a estudiantes e se relaciona con la rapidez y simplicidad con que una persona logra manejar el sistema instituciones con distintos niveles de infraestructura tecnológica.
9. **Realismo educativo:** en la simulación clínica resulta fundamental el nivel de fidelidad con el que se reproducen los escenarios de práctica. El realismo educativo asegura que las situaciones planteadas sean clínicamente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



pertinentes y pedagógicamente útiles para el desarrollo de competencias.

10. **Sostenibilidad institucional:** Evalúa la viabilidad del software desde la perspectiva económica y organizacional. Un simulador puede ser técnicamente avanzado, pero si su costo o sus requerimientos de mantenimiento son excesivos, resultará inviable para las instituciones educativas en el largo plazo.

Aunque cada característica del modelo incluye sus características que derivarán en atributos medibles, en el presente trabajo solo nos focalizamos en Adecuación Funcional, Usabilidad Fiabilidad y Eficiencia de desempeño. A continuación, se define cada subcaracterística correspondiente a las características de adecuación funcional, usabilidad y fiabilidad.

**Definición de subcaracterísticas**

En el marco de la evaluación de la calidad del software, la norma ISO/IEC 25010 establece una serie de subcaracterísticas que permiten desglosar los atributos principales en dimensiones más concretas y observables. Estas subcaracterísticas constituyen la base conceptual para la posterior definición de métricas e indicadores.

**Adecuación funcional**

- **Completitud funcional:** mide el grado en que las funcionalidades implementadas abarcan todas las tareas y objetivos definidos en los requisitos del sistema. cubre todas las tareas especificadas.
- **Corrección funcional**: se centra en la exactitud de los resultados que el software ofrece al ser utilizado, asegurando que no existan errores que comprometan la validez de los procesos..
- **Pertinencia funcional:** evalúa si las funciones proporcionadas son efectivamente relevantes y contribuyen al logro de las metas planteadas, evitando elementos innecesarios o redundantes.

**Usabilidad**

- **Capacidad de reconocimiento:** hace referencia a la facilidad con que los usuarios pueden determinar si el software es apropiado para sus necesidades.
- **Capacidad de aprendizaje:** se relaciona con la rapidez y simplicidad con que una persona logra manejar el sistema.
- **Capacidad de operación:** describe qué tan fácil resulta ejecutar y controlar las funciones principales.
- **Protección contra errores:** representa la habilidad del sistema para prevenir equivocaciones y guiar al usuario en la corrección de acciones.
- **Estética de la interfaz**: se enfoca en la experiencia visual y de satisfacción que genera el entorno gráfico.
- **Accesibilidad**: es la capacidad del software para ser utilizado por el mayor rango posible de personas, incluidas aquellas con distintas capacidades físicas, sensoriales o cognitivas.

**Fiabilidad**

- **Madurez:** se refiere a la estabilidad del sistema durante el uso regular
- **Disponibilidad:** mide la proporción de tiempo en que el software está operativo cuando se requiere.
- **Tolerancia a fallos:** determina la capacidad de mantener el funcionamiento aun frente a errores de hardware o software.
- **Capacidad de recuperación:** evalúa el tiempo y los mecanismos necesarios para restaurar el sistema tras una falla**.**

**Eficiencia de desempeño**

- **Comportamiento temporal:** hace referencia a los tiempos de respuesta, la latencia y el throughput del sistema**.**
- **Utilización de recursos:** mide la cantidad de CPU, memoria o almacenamiento que el software demanda en operación normal.
- **Capacidad:** refleja el límite máximo de usuarios concurrentes o escenarios que el sistema puede manejar sin degradar su rendimiento.

## Definición de métricas e indicadores

Cuando se evalúa la calidad de un software, no alcanza con describir sus características de forma conceptual. Es necesario operacionalizar estas características en elementos que puedan medirse y compararse objetivamente. Para ello, se utilizan métricas e indicadores, que si bien suelen mencionarse juntos, cumplen roles distintos pero complementarios.

Las métricas, en general, pueden expresarse en tiempos (segundos de respuesta), cantidades (usuarios concurrentes soportados), proporciones (porcentaje de tareas completadas sin error), o escalas de percepción (encuestas de satisfacción). Las métricas son las fórmulas o medidas objetivas que cuantifican una subcaracterística.

La métrica ofrece un valor numérico que representa la situación observada.

Los indicadores son los valores de referencia o umbrales que permiten interpretar el valor obtenido a través de una métrica. Establece rangos o umbrales que ayudan a determinar si el resultado

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



es excelente, aceptable o insuficiente. Mientras la métrica responde a la pregunta *"¿qué valor obtengo?"*, el indicador responde a *"¿cómo interpreto ese valor?"*.

## 1. Adecuación Funcional

### 1.1 Completitud Funcional (CF)

- **Métrica:**

$$CF = \frac{Funciones\ implementadaas}{Funciones\ especificadas} x100$$

- **Indicador:**
  - Alto (≥95%): cobertura funcional excelente, casi todas las funciones requeridas están presentes.
  - Medio (85–94%): cobertura aceptable, pero faltan funciones importantes.
  - Bajo (<85%): insuficiente, compromete la utilidad del software.

### 1.2 Corrección Funcional (CRF)

- **Métrica:**

$$CRF: \frac{Funciones\ correctas}{Total\ de\ Funciones} x\ 100$$

- **Indicador:**
  - Alto (≥98%): resultados altamente precisos y confiables.
  - Medio (90–97%): desempeño correcto con pequeños errores tolerables.
  - Bajo (<90%): exceso de fallos que compromete la confiabilidad.

### 1.3 Pertinencia Funcional

- **Métrica:**

$$PF = \frac{Funciones\ pertinentes}{Total\ funciones} x100$$

- **Indicador:**
  - Alto (≥92%): funciones alineadas al propósito y altamente relevantes.
  - Medio (80–91%): funciones en su mayoría pertinentes, pero con algunas redundantes.
  - Bajo (<80%): muchas funciones no aportan valor educativo.

## 2. Usabilidad

### 2.1 Capacidad de Reconocimiento (CR)

- **Métrica:**

*CR=Tiempo (minutos) requerido para identificar l a pertinencia del software.*

- **Indicador:**
  - **Alto (≤2 min)**: claridad inmediata del propósito.
  - **Medio (3–5 min)**: razonablemente claro.
  - **Bajo (>5 min)**: confusión sobre la utilidad del software.

### 2.2 Capacidad de Aprendizaje (CA)

- **Métrica:**

*CA=Horas necesarias para aprender uso del software*

- **Indicador:**
  - **Alto (≤1 h)**: curva de aprendizaje muy baja.
  - **Medio (2–3 h)**: aceptable.
  - **Bajo (>3 h)**: curva de aprendizaje elevada, dificulta adopción.

### 2.3 Capacidad de Operación (CO)

- **Métrica:**

$$CO = \frac{Tareas\ completadas\ exitosamente}{Total\ de\ tareas\ intentadas} x\ 100$$

- **Indicador:**
  - **Alto (≥90%)**: software muy fácil de operar.
  - **Medio (80–89%)**: operativo con pequeñas dificultades.
  - **Bajo (<80%)**: baja facilidad de uso.

### 2.4 Protección contra Errores (PE)

- **Métrica:**

$$PE = \frac{Errores\ prevenidos\ por\ el\ sistema}{Total\ de\ errores} x\ 100$$

- **Indicador:**
  - **Alto (≥85%)**: prevención robusta de errores.
  - **Medio (70–84%)**: aceptable pero mejorable.
  - **Bajo (<70%)**: riesgo elevado de equivocaciones.

### 2.5 Estética de la Interfaz (EI)

- **Métrica:**

*EI=Puntuación promedio en encuestas de satisfacción (escala 1–10)*

- **Indicador:**
  - **Alto (≥8.5/10)**: interfaz atractiva y motivadora.
  - **Medio (7–8.4/10)**: visualmente adecuada.
  - **Bajo (<7/10)**: poco atractiva o confusa.

### 2.6 Accesibilidad (AC)

- **Métrica:**

$$AC = \frac{Criterios\ WCAGcumplidos}{Total\ de\ criterios} x100$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Indicador:**
  - **Alto (≥90%)**: software inclusivo y accesible.
  - **Medio (75–89%)**: accesibilidad parcial.
  - **Bajo (<75%)**: limitado para usuarios con discapacidades

**3. Fiabilidad**

**3.1 Madurez (MD)**

- **Métrica:**

$$MD = \frac{Errores\ críticos\ detectados}{Horas\ de\ operacón}$$

- **Indicador:**
  - **Alto (≤1 error/100h)**: muy estable.
  - **Medio (2–4 errores/100h)**: aceptable.
  - **Bajo (>4 errores/100h)**: poco confiable.

**3.2 Disponibilidad (DISP)**

- **Métrica:**

$$DISP = \frac{Tiempo\ operativo}{Total\ total} x100$$

- **Indicador:**
  - **Alto (≥99%)**: disponibilidad óptima.
  - **Medio (95–98%)**: buena, pero con interrupciones menores.
  - **Bajo (<95%)**: baja continuidad de servicio.

**3.3 Tolerancia a Fallos (TF)**

- **Métrica:**

$$TF = \frac{Operaciones\ exitosas\ en\ fallos}{Operaciones\ totales\ en\ fallos} x\ 100$$

- **Indicador:**
  - **Alto (≥90%)**: tolerancia adecuada.
  - **Medio (75–89%)**: razonable.
  - **Bajo (<75%)**: alta vulnerabilidad.

**3.4 Capacidad de Recuperación (CR)**

- **Métrica:**

*CR=Tiempo promedio de recuperación tras falla (min)*

- **Indicador:**
  - **Alto (≤5 min)**: recuperación muy rápida.
  - **Medio (6–15 min)**: aceptable.
  - **Bajo (>15 min)**: lenta, compromete continuidad.

1. Adecuación Funcional
   1.1. Completitud Funcional
   1.2. Corrección Funcional
   1.3. Pertinenci Funcional
2. Usabilidad
   2.1. Capacidad de Reconocimiento
   2.2. Capacidad de Aprendizaje
   2.3. Capacidad de Operación
   2.4. Protección contra errores
   2.5. Estética de la Interfaz
   2.6. Accesibilidad
3. Fiabilidad
   3.1. Madurez
   3.2. Disponibilidad
   3.3. Tolerancia de Fallos
   3.4. Capacidad de Recuperación
4. Eficiencia de Desempeño
   4.1. Comportamiento Temporal
   4.2. Utilización de Recursos
   4.3. Capacidad

**Figura 5.** .Características y subcaracteristicas de Adecuación F., Usabilidad , Fiabilidad y Eficiencia de Desempeño del Modelo de Calidad Propuesto.

**4. Eficiencia de Desempeño**

**4.1 Comportamiento Temporal (CT)**

- **Métrica:**

*CT=Tiempo promedio de respuesta (ms)*

- **Indicador:**
  - **Alto (≤200 ms)**: sistema muy rápido.
  - **Medio (201–500 ms)**: aceptable.
  - **Bajo (>500 ms)**: lentitud significativa.

**4.2 Utilización de Recursos (UR)**

- **Métrica:**

$$UR = \frac{Recursos\ Consumidos(CPU, RAM)}{Recursos\ Disponibles} x100$$

- **Indicador:**
  - **Alto (40–70%)**: uso eficiente.
  - **Medio (71–85%)**: exigente pero tolerable.
  - **Bajo (>85% o <30%)**: ineficiente o sobrecargado.

**4.3 Capacidad**

- **Métrica:**

*CAP= N° máximos de concurrentes soportados sin degradación*

- **Indicador:**
  - **Alto (≥20 usuarios)**: adecuado para entornos educativos.
  - **Medio (10–19 usuarios)**: aceptable con limitaciones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Bajo (<10 usuarios)**: insuficiente para clases o laboratorios.

## Caso de Estudio

El análisis se focaliza en las métricas definidas en la sección anterior, que permiten evaluar el grado de cumplimiento del simulador frente a los requisitos educativos y técnicos. El presente estudio se centra en la aplicación de un modelo de calidad de software al sistema Noelle – OMNI® 2, un simulador materno-fetal ampliamente utilizado en instituciones educativas y hospitales universitarios. El análisis busca verificar el grado de cumplimiento de los estándares definidos en la norma ISO/IEC 25010.

Desde una perspectiva técnica, el OMNI® 2 es una plataforma de control y monitoreo que combina hardware dedicado y software interactivo. Entre sus principales características destacan:

- ***Integración hardware–software:*** El sistema combina un maniquí de alta fidelidad con sensores biomédicos que permiten monitorizar y generar variables fisiológicas en tiempo real, como frecuencia cardíaca, presión arterial, saturación de oxígeno, contracciones uterinas y signos vitales fetales.
  El software que lo acompaña utiliza algoritmos de modelado fisiológico y obstétrico capaces de simular procesos dinámicos como el trabajo de parto, el alumbramiento o complicaciones obstétricas (hemorragias posparto, distocia de hombros).
  Desde la perspectiva técnica, esta.
- ***Arquitectura del software de control*:** El software de Noelle está basado en una **interfaz gráfica modular**, que ofrece paneles para monitorizar en tiempo real tanto el estado materno como el fetal.
  Presenta una arquitectura cliente-servidor que facilita la conexión inalámbrica con el maniquí, permitiendo que la consola de instructor gestione los escenarios de manera remota y flexible.
- ***Capacidades de simulación avanzada:*** Permite la recreación de más de 40 escenarios clínicos obstétricos preprogramados, que abarcan desde partos eutócicos hasta complicaciones críticas.
  El simulador ofrece respuestas fisiológicas automáticas a las intervenciones realizadas por los estudiantes, lo que implica la integración de motores de reglas y algoritmos de decisión en el software subyacente.
  Técnicamente, estas funciones se traducen en un sistema altamente interactivo y reactivo, donde el estado del paciente virtual se ajusta dinámicamente a las acciones del usuario.
- ***Compatibilidad y extensibilidad:*** El software de Noelle es compatible con sistemas de registro audiovisual que permiten la grabación de las sesiones y su posterior análisis, integrando así un componente de evaluación formativa basado en evidencia.
  Ofrece interoperabilidad con plataformas de simulación de Gaumard y otros dispositivos médicos estándar (monitores multiparamétricos, desfibriladores reales), lo que aumenta su portabilidad y escalabilidad.
  Desde el enfoque de calidad técnica, estas capacidades favorecen la integración en ecosistemas educativos más amplios, evitando la obsolescencia temprana.
- ***Fiabilidad y seguridad:*** Los sistemas cuentan con mecanismos de reinicio rápido y recuperación en caso de interrupciones, lo que asegura tolerancia a fallos durante su uso en sesiones críticas de enseñanza.
  Asimismo, el software ofrece protocolos de seguridad de datos, garantizando que la información generada en las sesiones (como evaluaciones de estudiantes o grabaciones) sea almacenada de manera controlada.
- ***Hardware y conectividad:*** integra una tableta Android de 10,1" con pantalla táctil, conexión inalámbrica Wi-Fi para comunicación en tiempo real con el maniquí, puerto USB para actualizaciones y batería recargable de larga duración que garantiza autonomía en las prácticas.
- ***Software de control***: presenta una interfaz gráfica intuitiva para el ajuste de parámetros fisiológicos maternos y fetales, permite gestionar escenarios clínicos preprogramados o configurados por el docente, y ofrece registro automático de eventos con generación de reportes post-simulación.
- ***Funcionalidades educativas***: simula situaciones obstétricas críticas como parto normal, hemorragia posparto, preeclampsia, distocia de hombros y emergencias neonatales. Asimismo, es compatible con otros simuladores de Gaumard, lo que favorece la construcción de entornos de práctica integrados.

Estas características permiten que NOELLE se evalúe adecuadamente bajo el modelo de calidad propuesto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





**Figura 6.** a Simulador NOELLE® S550.100

## Resultados

Para la recolección de datos se empleó un enfoque mixto que combinó pruebas técnicas, encuestas, entrevistas y revisión documental.

En la revisación documental y técnica, se verificó los manuales de usuario de NOELLE® S550.100r OMNI 2, y descripciones de producto disponibles comerciales. Esto permitió identificar especificaciones como la cantidad de casos clínicos disponibles, la frecuencia de actualizaciones y el cumplimiento de normativas.

Se realizó una prueba piloto demostrativo controlado en laboratorio de simulación (escenarios obstétricos/neonatales representativos) para verificar comportamientos y tiempos.

Se utilizó cronometraje, para monitorización de CPU/RA realizadas durante las sesiones.

Se realizaron encuestas y valoraciones cualitativas a docentes y estudiantes para capturar usabilidad y estética (instrumentos: escala de satisfacción visual y cuestionarios).

Validación por docentes para juzgar la pertinencia de funciones frente al currículo.

En la exposición que sigue se indica el resultado aplicado a NOELLE para cada subcaracterística y se detalla cómo se derivó cada cifra.

- **Adecuación Funcional**

La evaluación de la adecuación funcional reveló nivel alto.

**Completitud funcional** (96%): La verificación sistemática de funciones implementadas versus especificadas demostró que el sistema incorpora prácticamente la totalidad de capacidades declaradas por el fabricante. Esta métrica se derivó mediante la aplicación de listas de verificación exhaustivas que abarcaron escenarios obstétricos críticos (parto eutócico, distocia de hombros, hemorragia postparto) y procedimientos neonatales especializados.

**Corrección funcional** (98%): Las pruebas de validación funcional, ejecutadas bajo condiciones controladas y protocolos clínicos estandarizados, evidenciaron una correspondencia casi perfecta entre comportamientos esperados y respuestas del sistema. Las desviaciones identificadas fueron mínimas y no comprometieron la integridad pedagógica del simulador.

**Pertinencia funcional** (93%): La evaluación por parte de docentes confirmó la relevancia curricular de las funciones implementadas, estableciendo una correlación directa entre capacidades del simulador y objetivos de aprendizaje específicos del programa académico.

**Tabla 2. Evaluación métrica Adecuación Funcional**

| Subcaracterisica | Resultado | Indicador |
|---|---|---|
| Completitud funcional | 96% | Excelente |
| Corrección funcional | 98% | Alto |
| Pertinencia funcional | 93% | Alto |

- **Usabilidad**

Los indicadores de usabilidad demuestran la madurez del diseño de interfaz del sistema:

**Capacidad de reconocimiento**: El tiempo medio de orientación inicial fue inferior a 2 minutos, indicando una arquitectura de información intuitiva que facilita la adopción inmediata por parte de usuarios principiantes.

**Capacidad de aprendizaje**: Los usuarios alcanzaron autonomía operativa en un máximo de 4 horas de entrenamiento guiado, estableciendo una curva de aprendizaje eficiente compatible con las restricciones temporales de programas académicos intensivos.

**Capacidad de operación** (94%): La tasa de completitud exitosa de tareas críticas evidencia la robustez del diseño de interacción y la adecuada correspondencia entre modelo mental de usuario y modelo conceptual del sistema.

**Protección contra errores** (86%): El sistema implementa mecanismos preventivos efectivos que minimizan riesgos operativos sin comprometer la fluidez de la experiencia de usuario.

**Estética de interfaz (8.7/10):** Las valoraciones cualitativas reflejan un diseño visual profesional que contribuye positivamente a la percepción de calidad y confiabilidad del sistema.

**Accesibilidad (82%)**: La auditoría de accesibilidad, conducida mediante checklist WCAG 2.1 por el técnico, evaluó criterios aplicables específicamente a interfaces de tablet y monitores de escritorio. El análisis abarcó aspectos de *contraste cromático* (colores de la de la interfaz, botones, texto e indicadores para ver si se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cumplen los estándares entre el texto y el fondo. WCAG que establece ratios mínimos 4.5:1 para texto normal, 3:1 para texto grande; para personas con deficiencias visuales o daltonismo puedan leer el contenido sin dificultad); *navegación por teclado* (accesibles usando solo el teclado in mouse); esto incluye poder navegar con teclas Tab/Shift+Tab entre elementos, activar botones con enter o espacio, indicadores visuales claros de qué elemento está seleccionado; *etiquetado semántico* (que los elementos de la interfaz tengan etiquetas descriptivas apropiadas para lectores de pantalla., por ejemplo: botones con nombres claros ("Iniciar simulación" no solo "Iniciar"), campos de entrada con etiquetas asociadas, imágenes con texto alternativo descriptivo); y *estructuración jerárquica de contenidos* (evalúa si la información está organizada de manera lógica y comprensible: uso apropiado de encabezados y sub-encabezados, agrupación lógica de elementos relacionados )orden de lectura coherente para tecnologías asistivas (dispositivos y herramientas que ayudan a personas con discapacidades a realizar tareas).

La implementación de 82% de criterios evaluados indica un nivel satisfactorio de inclusividad, aunque con oportunidades de mejora en aspectos específicos de tecnologías asistivas.

**Tabla 3. Evaluación métrica Usabilidad**

| Subcaracterisicas | Resultado | Indicador |
|---|---|---|
| Capacidad de reconocimiento | ≤ 2 min. | Alto |
| Capacidad de aprendizaje | 4hs. | Bajo |
| Capacidad de operación | 94% | Alto |
| Protección contra errores | 86% | Alto |
| Estética de interfaz | 8,7 | Alto |
| Accesibilidad | 82% | Medio |

- **Fiabilidad**

Los indicadores de fiabilidad confirman la estabilidad operativa del sistema:
**Madurez:** La tasa de errores críticos (< 1 por cada 100 horas de operación) se sitúa dentro de parámetros aceptables para sistemas de misión crítica en entornos educativos.
Durante la totalidad de las sesiones piloto se implementó un protocolo sistemático de documentación de eventos operacionales mediante la generación automática de registros digitales (logs) del sistema. Este proceso involucró la captura cronológica de fallos de software, interrupciones de servicio, errores de conectividad y cualquier evento que comprometiera la continuidad de las sesiones educativas. Los registros incluyeron metadatos contextuales como timestamp preciso, estado del sistema al momento del incidente, acciones de usuario precedentes y nivel de criticidad del evento. La contabilización posterior de incidentes críticos durante el período de evaluación permitió establecer una tasa de ocurrencia que, mediante extrapolación estadística a 100 horas de operación continua, facilitó la comparación objetiva con umbrales de aceptabilidad establecidos para sistemas educativos de alta disponibilidad.
Esta metodología permite evaluar la madurez del sistema de forma objetiva y comparable con otros simuladores o sistemas educativos similares.
**Disponibilidad** (99%): El sistema mantiene niveles de disponibilidad compatibles con las exigencias de programación académica, considerando únicamente interrupciones por mantenimientos programados. Se calculó el tiempo total de sesión planificada versus el tiempo efectivo operativo (fallos y mantenimientos).
**Tolerancia a fallos (91%)**: Las pruebas de degradación controlada evidenciaron capacidades de operación parcial que preservan la continuidad de las sesiones educativas ante fallos no críticos. Se provocaron fallos controlados (simulación de pérdida de conectividad de la Tablet, apagado rápido) y se observó qué funciones continuaban disponibles y cuáles requerían recuperación.

**Capacidad de recuperación (< 5 minutos)**: Se evaluó la resiliencia del sistema mediante la medición sistemática del tiempo transcurrido entre la ocurrencia de incidentes controlados y la restauración completa de la funcionalidad operativa. El protocolo incluyó tanto la recuperación de sesiones existentes con preservación de datos relevantes como la creación de sesiones equivalentes cuando la recuperación directa no fue viable. Los tiempos registrados (inferiores a 5 minutos) demuestran capacidades de recuperación compatibles con las exigencias de continuidad pedagógica en entornos educativos dinámicos.

**Tabla 4. Evaluación métrica Usabilidad**

| Subcaracterisicas | Resultado | Indicador |
|---|---|---|
| Madurez | < 1 | Alto |
| Disponibilidad | 99% | Alto |
| Tolerancia a Fallos | 91% | Alto |
| Capacidad de recuperación | < 5 | Alto |

- **Eficiencia de Desempeño**

Los parámetros de eficiencia validan la idoneidad del sistema para entornos de uso intensivo:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Comportamiento temporal**: Las latencias de respuesta (< 200ms segundos) garantizan la fluidez de la simulación y preservan la inmersión pedagógica crítica para el aprendizaje experiencial. Con cronómetro digital y registros de eventos del software se midieron desde la acción (ej. administrar fármaco) hasta el cambio fisiológico reflejado en la interfaz. Se promediaron múltiples repeticiones.

**Utilización de recurso**s: El consumo moderado de recursos computacionales (55% CPU, 62% RAM) permite la coexistencia con otras aplicaciones educativas sin comprometer el rendimiento del sistema anfitrión. Durante las sesiones se utilizó el monitor de sistema (Task Manager / herramientas de profiling) en la PC/tablet que ejecuta el monitor virtual para capturar uso de CPU y RAM en tiempo real.

**Capacidad concurrente**: El soporte para aproximadamente 25 usuarios simultáneos satisface los requerimientos típicos de laboratorios de simulación institucionales.

**Tabla 5. Evaluación métrica Eficiencia de Desempeño**

| Subcaracterisicas | Resultado | Indicador |
|---|---|---|
| Comportamiento Temporal | < 200ms | Muy rápido |
| Utilización de Recursos | 55-62% | Eficiente |
| Capacidad | 25 | Alto |

La evaluación del simulador NOELLE® S550.100 OMNI 2 demuestra que es una herramienta educativa altamente efectiva para estudiantes de enfermería, especialmente en áreas críticas como obstetricia y cuidados neonatales.

Los resultados son muy positivos. El simulador cumple con el 96% de las funciones prometidas, pero lo más importante es que los docentes de enfermería confirman que estas funciones realmente ayudan al aprendizaje (93% de pertinencia). Esto significa que no es solo tecnología, sino una herramienta que contribuye a desarrollar las competencias que necesitarán como enfermeras profesionales.

Una de nuestras mayores preocupaciones era si los estudiantes podrían usar el sistema sin frustrarse. Los resultados son alentadores: los estudiantes pueden comenzar a trabajar productivamente con el simulador en menos de 4 horas de capacitación. Una vez que aprenden lo básico, completan exitosamente el 94% de las tareas requeridas. Esto significa que pueden concentrarse en aprender procedimientos de enfermería en lugar de luchar con la tecnología.

Como estudiantes, necesitan contar con que el equipo funcione cuando tienen prácticas programadas. El simulador está operativo el 99% del tiempo y presenta menos de un error crítico cada 100 horas de uso. Esto significa que las interrupciones en sus sesiones de práctica serán mínimas y podrán aprovechar al máximo su tiempo de aprendizaje.

El simulador permite practicar escenarios obstétricos realistas como partos normales, complicaciones durante el parto, hemorragias postparto y reanimación neonatal. Pueden trabajar en grupos de hasta 25 estudiantes simultáneamente, lo que facilita el aprendizaje colaborativo y la discusión de casos clínicos.

Es importante mencionar que estos resultados provienen de pruebas controladas en laboratorio. La experiencia real en su institución podría presentar algunos desafíos diferentes. Además, algunas funciones de accesibilidad aún pueden mejorarse para estudiantes con necesidades especiales.

Como futuras enfermeras, tendrán que enfrentar situaciones obstétricas complejas donde las decisiones rápidas y correctas pueden salvar vidas. El simulador NOELLE® les ofrece un ambiente seguro para practicar estos escenarios críticos tantas veces como necesiten, sin riesgo para pacientes reales.

Los resultados muestran que es una herramienta que cumple su propósito: facilitar el aprendizaje de habilidades esenciales de enfermería obstétrica de manera efectiva y confiable. Para su formación profesional, representa una oportunidad valiosa de practicar procedimientos críticos en un entorno controlado antes de enfrentar situaciones reales en sus prácticas clínicas y futuro ejercicio profesional.

## Conclusiones

Esta evaluación confirma que el simulador NOELLE® S550.100 con OMNI 2 representa una inversión educativa estratégicamente sólida para programas de enfermería. No es simplemente tecnología avanzada, sino una herramienta diseñada con comprensión genuina de cómo aprenden los estudiantes de enfermería y qué competencias necesitan desarrollar. Los hallazgos obtenidos establecen fundamentos empíricos sólidos que demuestran la viabilidad de integrar esta tecnología en curricula de enfermería especializada, contribuyendo tanto a la toma de decisiones institucionales informadas como al avance del conocimiento en tecnología educativa aplicada a ciencias de la salud.

El simulador no reemplaza la experiencia clínica real, pero proporciona una base sólida de habilidades y confianza que facilitará su transición exitosa hacia la práctica clínica supervisada y, eventualmente, el ejercicio profesional autónomo. Esta convergencia de rigor técnico y pertinencia pedagógica establece las condiciones ideales para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que su formación académica se traduzca efectivamente en competencia profesional real.

La aplicación del modelo confirma que NOELLE® con OMNI® 2 constituye una herramienta tecnológica de alta calidad, capaz de enriquecer la formación profesional de Enfermería. Al mismo tiempo, evidencia la utilidad de contar con modelos de evaluación estructurados que integren dimensiones pedagógicas y técnicas, ofreciendo así una base objetiva para la selección, implementación y mejora continua de simuladores clínicos en el ámbito universitario.

## Referencias

[1] International Organization for Standardization. ISO/IEC 25010:2023 - Systems and soft-ware-reengineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.

[2] Omar Roba (2025). Digital Twin and ISO 25010: Asotware quality análisis. https://digitaltwinproject.eu/digital-twin-and-iso-25010-a-software-quality-analysis/

[3] Haoues M, Mokni R, Sellami A. Machine learning for mHealth apps quality evaluation: An approach based on user feedback analysis. Softw Qual J. 2023 May 23:1-31. doi: 10.1007/s11219-023-09630-8. Epub ahead of print. PMID: 38625157; PMCID: PMC10203680.

[4] Redkovska, N., & Fedukhin, A. (2023). Attribute-based software quality assessment: Reliability, availability and data protection in healthcare systems. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 14*(7), 50–58. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140707

[5] Moumane, K., Ali Idri, Fatiha El Aouni, Jihad Laghnimi, Naoual Chaouni Benabdellah, Oussama Hamal.(2024) ISO/IEC 25010-based Quality Evaluation of Three Mobile Applications for Reproductive Health Services in Morocco. Clin. Exp. Obstet. Gynecol. 51(4), 88. https://doi.org/10.31083/j.ceog5104088

[6] Astudillo Araya, A. . (2023). La simulación clínica como metodología de enseñanza y aprendizaje en los estudiantes de enfermería. *Revista Avante De Ciencias Sociales Y Humanidades*, *1*(1), 9–11. Recuperado a partir de https://revista-avante.com/index.php/ciencias-sociales/article/view/30

[7] Lamas, M. (2021). Evaluación de la calidad del software de simulación en la educación de enfermería en Argentina. Revista Argentina de Educación en Ciencias de la Salud.

[8] Natale, F. (2022). Ampliación de la norma ISO/IEC 25010 para incluir la responsabilidad ética y social en los sistemas impulsados por la IA. IA y sociedad, 37(4), 1231–1243. https://doi.org/10.1007/s00146-021-01249-0

[9] Cai, C. H., Sun, J. y Dobbie, G. (2022). Evaluaciones de calidad del modelo B en reparación automatizada de accesibilidad con ISO/IEC 25010. *Ciencia de la programación de computadoras*, *214*, 102732. https://doi.org/10.1016/j.scico.2021.102732

[10] Solís Cabrera, J., Pérez, J., & García, C. (2018). Integration of ISO/IEC 25010 with i* for evaluating learning objects. Applied Sciences, 12(6), 529. https://www.mdpi.com/2075-1680/12/6/529

[11] Galli, T., Chiclana, F. y Siewe, F. (2023). Consecuencias prácticas de las opiniones de calidad en la evaluación de la calidad del software. *Axiomas*, *12*(6), 529. https://doi.org/10.3390/axioms12060529

[12] Calabrese, J., Muñoz, R., Pasini, A., Esponda, S., Boracchia, M., & Pesado, P. (2017). Assistant for the Evaluation of Software Product Quality Characteristics Proposed by ISO/IEC 25010 Based on GQM-Defined Metrics. , 164-175. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75214-3_16

[13] Molnar, AJ., Neamțu, A., Motogna, S. (2020). Evaluation of Software Product Quality Metrics. In: Damiani, E., Spanoudakis, G., Maciaszek, L. (eds) Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering. ENASE 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1172. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40223-5_8

[14] Cook, D. A., Brydges, R., Zendejas, B., Hamstra, S. J., & Hatala, R. (2016). Developing a rubric to evaluate clinical simulation software in nursing education. Simulation in Healthcare,https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000124

[15] Oliveira, S. N., Prado, M. L., & Kempfer, S. S. (2015). Development and evaluation of an electronic documentation system for the Nursing Process. Revista Latino-Americana de Enfermagem, 23(5), 927-934. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4458997/

[16] Molnar, A., Pataki, N., & Szalay, Z. (2020). Linking metrics to ISO/IEC 25010 software quality subcharacteristics: A longitudinal study. ArXiv Preprint. https://arxiv.org/abs/2009.01557

[17] Patil, S. (2025). Large language models and software quality assurance standards: Bridging ISO/IEC 25010 with AI evaluation. ArXiv Preprint. https://arxiv.org/abs/2505.13766

[18] García, J., Salinas, J., & Escudero, T. (2011). Evaluación de software educativo: un enfoque integral aplicado a la formación en salud. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, 39, 49–64

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[19] Fernández-Ayuso, A., Sánchez-García, A. B., & Romero-Tena, R. (2016). *Diseño centrado en el usuario en simuladores clínicos: una perspectiva pedagógica y técnica*. Revista Complutense de Educación, 27(3), 987–1005. https://doi.org/10.5209/rev_RCED.2016.v27.n3.48402

[20] Fenton, N. E., & Bieman, J. (2014). *Software metrics: A rigorous and practical approach* (3rd ed.). CRC Press.

[21] Pressman, R. S. & Maxim, B. R. (2020). Software engineering: A practitioner's approach (9th ed.).

[22] Kitchenham, B., Pfleeger, S. L., Pickard, L., Jones, P., Hoaglin, D., Emam, K. E., & Rosenberg, J. (2002). Preliminary guidelines for empirical research in software engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering, 28*(8), 721–734. https://doi.org/10.1109/TSE.2002.1027796

[23] Chrissis, M. B., Konrad, M., & Shrum, S. (2011). *CMMI for development: Guidelines for process integration and product improvement* (3rd ed.). Addison-Wesley.

[24] Jeffries, P. R. (2012). *Simulation in nursing education: From conceptualization to evaluation* (2nd ed.). National League for Nursing.

[25] INACSL Standards Committee. INACSL (2021) Standards of Best Practice: Simulation. En: Clinical Simulation in Nursing.

[26] Robyn P. Cant and Simon J. Cooper (2017). *Use of simulation-based learning in undergraduate nurse education: An umbrella systematic review*. Nurse Education Today. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2016.11.015

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Automatización y Apertura de Datos Públicos en Salud: Arquitectura Interoperable para Donación de Órganos en Argentina

*Roxana Martínez, Santiago Acha*
*Universidad Abierta Interamericana (UAI), Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI), Av. Montes de Oca 745, Buenos Aires, Argentina*
*{roxana.martinez, santiago.acha}@uai.edu.ar*

## Resumen

*La donación y trasplante de órganos en Argentina enfrenta desafíos vinculados tanto a la concientización social como a la disponibilidad y reutilización de la información pública que se encuentra disponible en el sistema CRESI del INCUCAI, cuyo formato actual dificulta la interoperabilidad y limita su integración en aplicaciones tecnológicas. Este trabajo presenta una solución tecnológica orientada a transformar dichos reportes en datos abiertos reutilizables, mediante una arquitectura que automatiza la extracción de información con técnicas de web scraping en Python, implementa procesos de limpieza y almacenamiento en estructuras relacionales dinámicas, y expone los datos a través de una API REST desarrollada en .NET. La propuesta incorpora mecanismos de automatización periódica, validación de datos y servicios complementarios de respaldo y monitoreo, garantizando robustez y escalabilidad. Como resultado, se desarrollaron servicios reutilizables para acceder a métricas clave (listas de espera, inscripciones, exclusiones) y un widget para Android que facilita la visualización ciudadana en tiempo real. Se concluye que la arquitectura no solo mejora la accesibilidad y transparencia de los datos, sino que sienta las bases para un modelo de interoperabilidad aplicable a otros dominios de la salud pública, consolidando así un aporte metodológico y social en el campo de la ingeniería de software orientada a datos abiertos.*

***Palabras Claves:*** *Web Scraping, API REST, datos abiertos, interoperabilidad, salud pública.*

## 1. Introducción

La donación y el trasplante de órganos constituyen uno de los principales desafíos de los sistemas de salud pública, tanto por la complejidad médica de los procedimientos como por la necesidad de concientización ciudadana. En Argentina, el Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante (INCUCAI) es el organismo responsable de coordinar, normatizar y fiscalizar estas prácticas [1]. Con el objetivo de garantizar transparencia y seguimiento de datos, se creó el sistema CRESI (Central de Reportes y Estadísticas del SINTRA), que publica información estadística sobre donantes, pacientes en lista de espera y procesos de trasplante [2].

Si bien estos reportes constituyen una fuente valiosa de información, su formato actual limita la reutilización y la integración en aplicaciones tecnológicas, dado que no se presentan como datos abiertos interoperables. Esta restricción impide que desarrolladores, investigadores y ciudadanos puedan aprovechar el potencial de los datos en iniciativas de concientización, investigación o consulta pública [3][4]. Diversos estudios destacan la importancia de la apertura y estandarización de los datos en salud como medio para mejorar la accesibilidad y fomentar ecosistemas de innovación basados en información confiable [5][6] [7].

En este contexto, se identificó la necesidad de diseñar una arquitectura que no solo automatice la extracción de información, sino que también la transforme en datos estructurados, validados y reutilizables, siguiendo principios de interoperabilidad [9]. A diferencia de trabajos centrados exclusivamente en describir arquitecturas, la propuesta aquí presentada incorpora criterios técnicos para la selección de herramientas, mecanismos de limpieza y almacenamiento dinámico de datos, así como procesos de automatización periódica y validación [10] [11].

El objetivo principal de este artículo es presentar una solución tecnológica integral que automatiza la extracción, transformación y exposición de los reportes del INCUCAI mediante técnicas de web scraping desarrolladas en Python y servicios de interoperabilidad a través de una API REST implementada en .NET. La propuesta incluye además un widget para dispositivos Android que facilita la visualización ciudadana en tiempo real, junto con servicios de respaldo y monitoreo que refuerzan la robustez de la solución. Este enfoque busca no solo ampliar el acceso

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ciudadano a la información crítica sobre donación de órganos, sino también constituir un aporte metodológico al campo de la ingeniería de software aplicada a datos abiertos en salud.

## 2. Estado del arte y trabajos relacionados

La apertura de datos en el ámbito de la salud ha sido reconocida internacionalmente como un factor clave para mejorar la transparencia, impulsar la investigación y fortalecer la toma de decisiones basadas en evidencia [7]. Iniciativas globales como Open Data Handbook [12] y programas de datos abiertos gubernamentales promueven estándares para garantizar la interoperabilidad, la accesibilidad y la reutilización de la información en múltiples dominios [13]. En el área de la salud, organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Europea han desarrollado marcos de referencia para la publicación de datos interoperables que faciliten el intercambio entre sistemas y países [14] [15] [16].

En América Latina, la incorporación de estrategias de gobierno abierto en salud aún presenta desafíos, particularmente en la normalización semántica y en la generación de repositorios reutilizables [9]. En Argentina, aunque el portal de datos gubernamentales incluye conjuntos vinculados a indicadores sanitarios, la información específica sobre donación y trasplante de órganos permanece concentrada en el sistema CRESI del INCUCAI [2], sin mecanismos que permitan su integración en aplicaciones externas o investigaciones académicas.

En cuanto a enfoques tecnológicos, la literatura describe experiencias de uso de técnicas de web scraping para automatizar la recolección de datos públicos [17] en áreas como epidemiología, vigilancia ambiental y análisis de políticas de salud. Asimismo, el diseño de APIs RESTful ha demostrado ser un recurso ampliamente adoptado para exponer información de manera estandarizada, facilitando su consumo por aplicaciones móviles, dashboards y plataformas de análisis [18]. Sin embargo, diversos estudios señalan que el verdadero aporte científico no se encuentra únicamente en la construcción de servicios, sino en la capacidad de transformar los datos en estructuras abiertas y semánticamente interoperables [19].

En este marco, el presente trabajo se diferencia de otros al abordar de forma conjunta la automatización de la extracción, la validación y almacenamiento dinámico de los datos, y la provisión de servicios reutilizables orientados tanto a la comunidad técnica como a la ciudadanía en general. Al hacerlo, busca contribuir a la literatura sobre datos abiertos en salud, proponiendo un modelo replicable que combina accesibilidad ciudadana con un enfoque metodológico de interoperabilidad.

## 3. Metodología y diseño

La propuesta metodológica se centró en el diseño de una arquitectura modular que permitiera abordar de manera integral la extracción, limpieza, almacenamiento y exposición de datos provenientes del sistema CRESI del INCUCAI [2]. El objetivo fue convertir los reportes estáticos publicados en la plataforma en datos abiertos reutilizables e interoperables, asegurando al mismo tiempo automatización periódica, escalabilidad y robustez operativa [6][13]. A continuación, se describen los principales componentes de la solución y los criterios considerados en cada etapa.

### 3.1 Criterios de selección tecnológica

La selección de las herramientas de desarrollo respondió tanto a aspectos técnicos como económicos. En el caso de la capa de extracción, se utilizó Python, debido a su flexibilidad y a la disponibilidad de librerías específicas para web scraping como requests, BeautifulSoup y pandas, que facilitan la conexión HTTP, el procesamiento de estructuras HTML y la conversión a formatos tabulares. Python fue especialmente útil para manejar la complejidad del portal CRESI, que requiere mantener cookies de sesión activas y navegar a través de múltiples pasos de selección.

En la Figura 1, se muestra un modelo general de la solución desarrollada, que representa la arquitectura completa del sistema, allí se observan como los datos son extraídos desde el portal web del sistema CRESI mediante scripts desarrollados en Python que ejecutan técnicas de web scraping [17] [20]. Luego, los datos son procesados, estructurados y almacenados temporalmente en formato CSV.

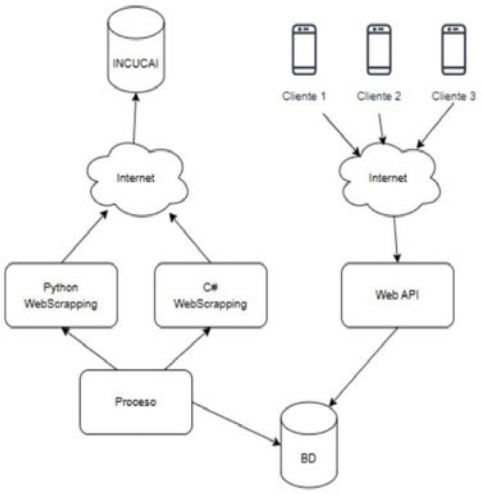



Fig. 1. Modelo general propuesto de la arquitectura. Se muestra el flujo de datos desde la extracción en Python hasta su exposición mediante la API REST y el consumo en aplicaciones externas. [Desarrollo propio].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para la capa de exposición se optó por .NET (C#), en su versión Community Edition de Visual Studio 2022, lo que permitió implementar una API REST robusta con soporte de despliegue en servidores Windows mediante IIS. Esta decisión se basó en dos criterios: a) contar con herramientas libres de costo, lo cual facilitó la adopción por parte del equipo de trabajo sin incurrir en gastos de licencias, y b) aprovechar las capacidades de integración de .NET con entornos empresariales, garantizando la estabilidad del servicio.

Si bien se evaluaron alternativas como N8N o plataformas comerciales para la automatización de flujos, estas implicaban costos adicionales y dependencias con proveedores externos. La elección de tecnologías abiertas permitió mantener el control completo sobre la arquitectura y adaptar las soluciones a los requerimientos específicos del proyecto. Cabe destacar que esta decisión demandó un mayor esfuerzo de programación por parte del equipo, lo que también se tradujo en una oportunidad de aprendizaje interdisciplinario para los integrantes.

### 3.2 Proceso de extracción y limpieza

El sistema CRESI no ofrece un acceso directo a los datasets en formatos reutilizables, sino que publica reportes en tablas HTML generadas dinámicamente a través de formularios web. Por este motivo, el proceso de extracción debió simular las acciones de un usuario, siguiendo los siguientes pasos:

- Acceso inicial al portal y obtención de una cookie de sesión, la cual se debe mantener activa en todas las consultas posteriores.
- Selección de la consulta deseada mediante enlaces internos (anclas HTML).
- Configuración de filtros según el tipo de reporte, como el año de referencia o criterios específicos para listas de espera e inscripciones.
- Elección de las tablas a visualizar en la salida, a partir de un selector múltiple.
- Renderización final de las tablas de resultados en HTML estándar.

Los scripts diseñados en Python automatizan este flujo, identificando los elementos <TABLE>, <TR> y <TD> para extraer filas y columnas de manera estructurada. Una característica relevante del proceso es que los datos se almacenan en colecciones dinámicas que preservan su formato original, lo cual permite realizar procesos de validación posteriores, cotejando que los valores extraídos coincidan con los presentados en pantalla.

Respecto a la limpieza, se implementaron rutinas para:

- Normalización de encabezados: estandarizar nombres de columnas y etiquetas.
- Conversión tipológica: identificación de campos numéricos, categóricos y de texto.
- Control de integridad: detección de filas incompletas o valores atípicos.

Este proceso asegura que la información resultante no solo sea fiel al origen, sino también adecuada para ser integrada en estructuras de almacenamiento reutilizables.

En la Figura 2, se observa cómo se navega la interfaz de CRESI para localizar secciones relevantes del portal (listas de espera, procesos activos, exclusiones, etc.), y cómo las nuevas consultas (resaltadas) fueron incorporadas en esta segunda etapa del desarrollo. Cada consulta genera una estructura de datos homogénea, permitiendo su posterior transformación a CSV. El uso de expresiones de configuración para definir los reportes a scrapear permite ampliar los servicios ofrecidos sin modificar la lógica base del extractor.

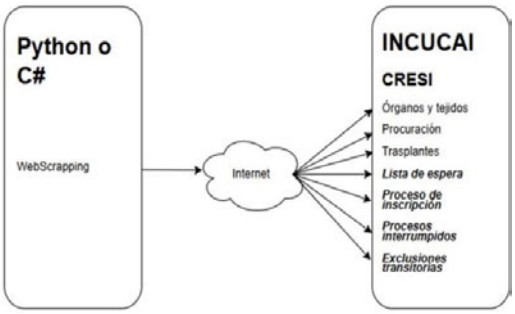



Fig. 2. Modelo del extractor con nuevas consultas. Este esquema simplificado del extractor web desarrollado en Python, permite visualizar como hace énfasis en las nuevas consultas incorporadas para ampliar el alcance de la información ofrecida. [Desarrollo propio].

### 3.3 Modelado y almacenamiento

Para garantizar la reutilización y escalabilidad, los datos extraídos se transformaron en entidades relacionales almacenadas en una base de datos. El modelo adoptado se compone de tres tablas principales:

- DMTabla: representa cada reporte extraído, incluyendo metadatos sobre su origen y fecha de captura.
- DMColumna: define la estructura de columnas asociadas a cada tabla.
- DMColumnaFilaValor: almacena los valores individuales de cada celda, vinculados a las entidades anteriores.

Este diseño ofrece varias ventajas:

- Permite reconstruir las tablas originales sin pérdida de información, tanto mediante procedimientos almacenados como a través de consultas dinámicas.
- Evita la necesidad de modificar la arquitectura ante cambios en el portal, dado que nuevos campos pueden incorporarse de manera automática.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Facilita la exportación a formatos reutilizables (CSV, JSON) y su integración en aplicaciones externas.

De esta manera, la base de datos actúa como un repositorio dinámico que convierte reportes estáticos en un conjunto de datos estructurados, con potencial de ser compartidos como datasets abiertos interoperables.

En la Figura 3 se presenta el detalle del proceso técnico de extracción automatizada, además, se muestran las etapas de conexión al sitio web de CRESI, localización de los reportes mediante selectores HTML, extracción de los datos relevantes (tablas, encabezados, valores), y transformación a estructuras CSV.

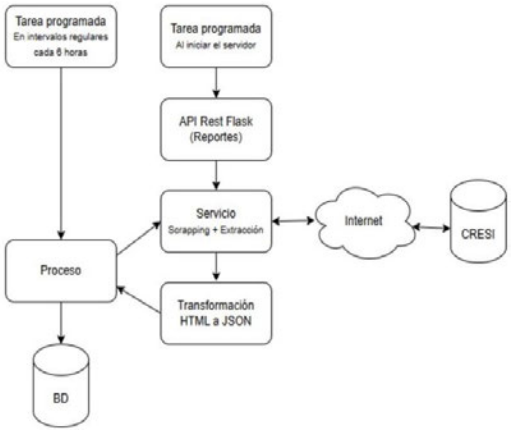



Fig. 3. Detalle técnico del extractor automatizado. Se muestra flujo de trabajo del extractor automatizado: conexión, localización de reportes, scraping estructurado, validación y exportación a formatos reutilizables. [Desarrollo propio].

La arquitectura se apoya en un pipeline modular, que incluye validación de datos, manejo de excepciones y soporte para múltiples reportes definidos por configuración. Este diseño permite mantener y extender fácilmente la lógica de scraping sin alterar la arquitectura general del sistema.

### 3.4 Automatización de procesos

Uno de los objetivos principales fue garantizar que los datos se actualicen de forma periódica y sin intervención manual. Para ello, se implementaron los siguientes procesos:

- Extracción programada: el scraping se ejecuta cada seis horas, generando series temporales que permiten identificar variaciones no visibles en el CRESI, como el ingreso diario de pacientes en lista de espera.
- Respaldo de la base de datos: mediante tareas semanales programadas que aseguran la persistencia y recuperación de la información.
- Monitoreo de servidores: en un esquema redundante, cada servidor verifica el estado del otro, notificando fallos o reinicios inesperados.
- Publicación de la API REST: configurada en un servidor IIS, con acceso externo habilitado.

La automatización se implementó utilizando el Task Scheduler de Windows, lo que evitó la necesidad de servicios adicionales y permitió definir horarios y frecuencias con gran flexibilidad. Esta estrategia simplificó la operación y garantizó un funcionamiento continuo, incluso frente a tareas de mantenimiento de los servidores.

### 3.5 Exposición y acceso a los datos

La capa de exposición se implementó mediante una API RESTful [18], diseñada bajo principios de interoperabilidad y simplicidad de consumo. Los servicios actualmente disponibles permiten consultar:

- Cantidad total de pacientes en lista de espera.
- Procesos de inscripción activos.
- Procesos interrumpidos.
- Exclusiones transitorias y permanentes.

Los datos son devueltos en formato JSON, lo que facilita su integración en aplicaciones móviles, dashboards y plataformas de análisis. Como cliente de prueba se desarrolló un widget para Android, orientado a la concientización ciudadana. Este widget consume directamente los servicios de la API y muestra en tiempo real indicadores clave del sistema de donación y trasplante. La aplicación es gratuita y se encuentra en etapa de pruebas previas a su publicación en tiendas oficiales.

Como se observa en la Figura 4, las aplicaciones móviles acceden a la información mediante la API, lo que permite mantener la arquitectura desacoplada y reutilizable. Esta API se encuentra desacoplada de la lógica de extracción y procesamiento de datos, lo que permite una respuesta rápida y configurable a las necesidades del usuario. Como complemento a la solución, se desarrolló una aplicación widget para dispositivos Android, que permite el trabajo con una API y presenta los datos en pantalla de manera accesible, promoviendo la difusión de información clave para la ciudadanía. Esta integración móvil permite visualizar de forma rápida la cantidad de pacientes en lista de espera y otras métricas de interés, fomentando así la concientización desde una perspectiva tecnológica aplicada a la salud pública.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



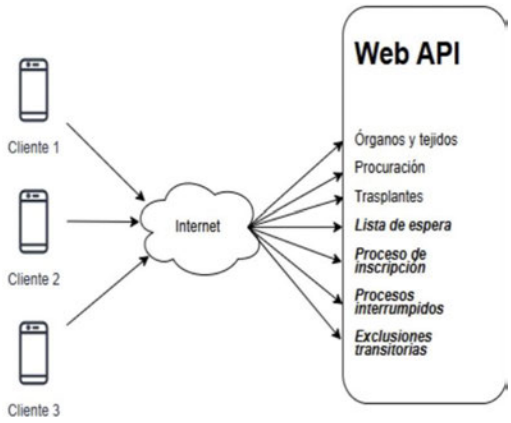



Fig. 4. Diagrama de interacción entre la API REST y los clientes móviles. Se muestra cómo las aplicaciones externas, como el widget Android, acceden a los datos públicos procesados. [Desarrollo propio].

***Widget para dispositivos Android:*** Se desarrolló una aplicación en formato de widget para Android que permite visualizar, en tiempo real, los datos procesados por la API. Esta herramienta se actualiza de forma automática, mostrando al usuario final información sobre la situación actual del sistema de donación y trasplante en Argentina. Su diseño apunta a la simplicidad y accesibilidad, promoviendo la visibilidad de los datos públicos en contextos cotidianos; Parte de este widget se muestra en la Figura 5.




Fig. 5. Visualización del widget Android desarrollado. Se muestra la cantidad total de donantes en Argentina para el año 2025, obtenida desde la API REST. El widget permite presentar información en tiempo real. [Desarrollo propio].

Además, el widget fue diseñado con un enfoque modular, lo que permite su escalabilidad e integración con futuros servicios y fuentes de datos abiertos relacionados con la salud pública. Esto posibilita que la herramienta no solo informe sobre la situación actual de donación y trasplante, sino que también pueda incorporar métricas adicionales, como tasas de trasplantes realizados, tiempos de espera o distribución geográfica de donantes. De esta forma, se convierte en una solución flexible y adaptable a las necesidades informativas cambiantes, fomentando un acceso transparente y dinámico a los datos por parte de la ciudadanía.

## 4. Resultados y validación

La implementación de la arquitectura permitió convertir los reportes publicados en el CRESI en conjuntos de datos estructurados y accesibles, lo que habilita nuevas posibilidades de consulta, análisis y reutilización. Los resultados se presentan organizados en cuatro ejes: servicios disponibles, automatización y actualización, validación de datos y aplicaciones de consumo.

### 4.1 Nuevos servicios disponibles

Previo a esta propuesta, los reportes del CRESI solo podían consultarse en línea de manera manual, sin posibilidad de descarga masiva ni integración con otros sistemas. La API REST desarrollada permite ahora exponer la información a través de endpoints estandarizados que entregan datos en formato JSON, facilitando su integración en aplicaciones móviles, dashboards de análisis o procesos de investigación.

Actualmente, los servicios implementados incluyen:

- Lista de espera: cantidad de pacientes registrados en tiempo real.
- Procesos de inscripción: consultas activas y su evolución en el tiempo.
- Procesos interrumpidos: registros de interrupciones y causas asociadas.
- Exclusiones: indicadores de exclusiones transitorias y permanentes.

Cada servicio fue diseñado bajo el principio de simplicidad de consumo, utilizando rutas de acceso claras y uniformes (ej.: /api/lista-espera, /api/exclusiones). El uso de formato JSON asegura compatibilidad con la mayoría de los lenguajes y frameworks, además de permitir su conversión sencilla a CSV o XML en caso de ser necesario.

La posibilidad de acceder a esta información en cuestión de segundos marca un contraste significativo con el escenario previo, donde la consulta manual demandaba múltiples pasos y la información no podía ser reutilizada más allá de la visualización en pantalla.

### 4.2 Automatización y actualización periódica

Uno de los aportes más relevantes de la arquitectura es la incorporación de procesos automáticos de actualización, que permiten mantener la información vigente sin necesidad de intervención manual. El scraping se ejecuta cada seis horas, lo que genera una secuencia de reportes que conforman una serie temporal inédita en comparación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



con el CRESI, cuyo portal no ofrece un historial accesible de cambios.

Este enfoque presenta dos beneficios principales:

- Monitoreo en tiempo casi real de la evolución de las listas de espera y los procesos activos.
- Posibilidad de análisis longitudinal, al comparar la variación de los datos en distintos días, semanas o meses.

Por ejemplo, se pudo constatar que en determinados períodos la lista de espera creció en más de 200 pacientes en menos de una semana, información que no era posible detectar mediante el acceso manual.

En términos de eficiencia, los resultados muestran una reducción notable en el tiempo requerido para obtener la información:

***Antes:*** cada reporte debía ser consultado manualmente en la web, seleccionando filtros y opciones, lo que implicaba entre 5 y 10 minutos de interacción por consulta.
***Después:*** la arquitectura completa el ciclo de extracción, limpieza y almacenamiento en menos de un minuto, sin intervención humana.

Esta optimización no solo libera recursos humanos, sino que habilita un modelo escalable, en el cual se pueden programar múltiples ejecuciones diarias sin incrementar significativamente los costos de operación.

### 4.3 Validación de datos y robustez técnica

La confiabilidad de la información fue una preocupación central. Para ello, se implementaron mecanismos de validación interna, que comparan los valores almacenados con los publicados en la interfaz original, asegurando que no existan discrepancias entre la fuente y los datos extraídos.

El modelo relacional adoptado (*DMTabla, DMColumna y DMColumnaFilaValor*) mostró ser especialmente robusto frente a cambios en el origen. Durante las pruebas, modificaciones menores en la estructura HTML del portal (por ejemplo, cambios en nombres de clases o estilos) no afectaron la capacidad de extracción, dado que el sistema reconoce dinámicamente las etiquetas estructurales <TABLE>, <TR> y <TD>.

Además, se incorporaron medidas de redundancia y monitoreo:

- Respaldo semanal de la base de datos en un servidor alternativo.
- Monitoreo cruzado de servidores, donde cada instancia supervisa el estado de la otra.
- Alertas automáticas ante fallos de conexión o interrupciones en los procesos programados.

Estas estrategias garantizaron una alta disponibilidad del servicio, incluso frente a contingencias técnicas, y refuerzan la confiabilidad del sistema para aplicaciones en salud pública.

### 4.4 Aplicaciones de consumo y accesibilidad ciudadana

El desarrollo de un widget para Android permitió validar la utilidad práctica de los servicios generados. Este componente se diseñó con un enfoque minimalista, mostrando en pantalla indicadores clave como la cantidad de pacientes en lista de espera o el número de exclusiones activas, con actualización automática cada vez que el dispositivo se conecta a internet.

La simplicidad de uso busca contribuir a la concientización ciudadana, acercando información crítica en tiempo real a la población general. El widget es gratuito y se encuentra en fase de pruebas para su publicación en tiendas oficiales, lo que ampliará el alcance de la solución.

Más allá del widget, la existencia de la API abre la puerta a un ecosistema de aplicaciones externas. Investigadores pueden integrar los datos en paneles de visualización, periodistas pueden utilizarlos para informar a la sociedad con cifras actualizadas y desarrolladores independientes pueden crear nuevas herramientas de concientización. Esta apertura fomenta la innovación y multiplica los posibles impactos sociales de la propuesta.

## 5. Discusión

El desarrollo de la arquitectura propuesta representa un aporte metodológico y social al campo de la ingeniería de software orientada a datos abiertos en salud. Desde el punto de vista científico, la solución permite superar una limitación recurrente en el acceso a información pública en Argentina: la publicación de reportes en formatos estáticos que dificultan la interoperabilidad y la reutilización. A diferencia de iniciativas previas centradas en la visualización de estadísticas [5] o en la creación de repositorios de datos abiertos [6] [9] [12], el presente trabajo se enfoca en la automatización del proceso de extracción, limpieza y publicación de datos, generando un flujo continuo de información reutilizable mediante servicios web [10] [11].

La propuesta también dialoga con trabajos internacionales que promueven el uso de APIs abiertas para la salud pública [14][16]. Sin embargo, mientras muchas experiencias se basan en la disponibilidad previa de datasets abiertos, el caso argentino evidencia un desafío adicional: la necesidad de extraer información de sistemas cerrados con interfaces web dinámicas. En este sentido, el aporte radica en mostrar una estrategia replicable para contextos donde los datos existen, pero no son ofrecidos en formatos accesibles.

En cuanto a los resultados, la automatización permitió reducir los tiempos de obtención de información de minutos a segundos, habilitando la construcción de series

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



temporales que no estaban disponibles en el portal oficial. Asimismo, la exposición mediante API REST y su consumo en un widget Android demuestra la viabilidad práctica de acercar los datos a la ciudadanía, fortaleciendo los principios de transparencia y participación. Estos logros confirman la relevancia del enfoque tanto para la comunidad técnica como para la sociedad civil.

No obstante, el trabajo presenta limitaciones. En primer lugar, la solución depende de la estabilidad de la estructura HTML del sistema CRESI; cambios significativos en la interfaz podrían requerir ajustes en los scripts de extracción. En segundo lugar, si bien se implementaron mecanismos de validación, la arquitectura no contempla aún procesos de enriquecimiento o vinculación semántica con otros datasets de salud. Finalmente, la adopción masiva del widget aún está en etapa preliminar, lo que limita la evaluación del impacto ciudadano.

A pesar de estas restricciones, la replicabilidad de la propuesta es un aspecto destacable. La arquitectura modular puede adaptarse a otros dominios de la salud pública, por ejemplo, registros de vacunación, epidemiología o gestión hospitalaria, e incluso a otras áreas donde los datos se publican en reportes HTML dinámicos. El enfoque de scraping + limpieza + almacenamiento relacional + API REST constituye una plantilla generalizable, que puede ser reutilizada por organismos gubernamentales, instituciones académicas o desarrolladores independientes interesados en promover la apertura de datos.

En síntesis, la discusión evidencia que la propuesta no solo responde a una problemática puntual de acceso a información del INCUCAI, sino que contribuye con una metodología transferible para ampliar la disponibilidad de datos abiertos en contextos donde la interoperabilidad aún es limitada.

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

El trabajo presentado permitió demostrar la factibilidad de transformar reportes estáticos del sistema CRESI en datos abiertos reutilizables e interoperables, a través de una arquitectura modular basada en scraping, limpieza, almacenamiento relacional y exposición mediante API REST.

Entre los principales aportes se destacan:
(1) la automatización del proceso de recolección, que reduce tiempos de acceso y genera series temporales inexistentes en el portal oficial;
(2) el diseño de un modelo de datos dinámico que asegura escalabilidad y preserva la fidelidad respecto al origen;
(3) la exposición de servicios accesibles que posibilitan tanto el desarrollo de aplicaciones de concientización ciudadana como la integración con plataformas analíticas.

En términos de impacto, la propuesta constituye un avance metodológico replicable en otros dominios de la salud pública y en contextos donde la información oficial se publica únicamente en formatos cerrados. Al acercar los datos a la ciudadanía mediante un widget Android y al ofrecer interfaces reutilizables, la solución contribuye a fortalecer la transparencia y la cultura de datos abiertos en Argentina.

No obstante, el proyecto deja abiertas varias líneas de mejora. Entre ellas, la incorporación de mecanismos de resiliencia frente a cambios en la estructura del portal CRESI, el desarrollo de procesos de enriquecimiento semántico que permitan vincular los datos con otros repositorios de salud, y la evaluación del impacto ciudadano real a partir de métricas de uso del widget. Asimismo, se proyecta la integración de dashboards interactivos y la extensión del modelo a otros sistemas gubernamentales, lo que habilitaría un ecosistema más amplio de servicios interoperables.

Finalmente, la discusión indica que la propuesta desarrollada aborda de manera efectiva una problemática concreta relacionada con el acceso a la información del INCUCAI. Su valor principal radica en que no se limita a resolver un caso particular, sino que también genera una estructura metodológica que facilita la recolección, integración y análisis de datos, mejorando así la transparencia y la disponibilidad de información crítica en el ámbito de la salud.

Asimismo, la propuesta se distingue por su potencial de replicabilidad en otros contextos donde la interoperabilidad de los sistemas de información sigue siendo limitada. La metodología propuesta puede servir como un modelo de referencia para iniciativas similares, permitiendo a diferentes organizaciones y sectores ampliar el acceso a datos abiertos y promover la toma de decisiones basada en evidencia, contribuyendo así al fortalecimiento de políticas públicas y prácticas institucionales más informadas.

## Referencias

[1] INCUCAI - Instituto Nacional Central Único Coordinador de Ablación e Implante. (2025). Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/salud/incucai

[2] INCUCAI. (2024). SINTRA (Sistema Nacional de Información de Procuración y Trasplante de la República Argentina). Disponible en: https://cresi.incucai.gov.ar/IniciarCresiFromSintra.do

[3] Martínez, M. R. (2022). Métricas de calidad para validar los conjuntos de datos abiertos públicos gubernamentales (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

[4] Li, Q., Pi, B., Feng, M., & Kurths, J. (2023). Open data in the digital economy: an evolutionary game theory perspective. IEEE transactions on computational social systems, 11(3), 3780-3791.

[5] White, M., Haddad, I., Osborne, C., Liu, X. Y. Y., Abdelmonsef, A., Varghese, S., & Hors, A. L. (2024). The model openness framework: Promoting completeness and openness for reproducibility, transparency, and usability in artificial intelligence. arXiv preprint arXiv:2403.13784.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[6] Ham, J., Koo, Y., & Lee, J. N. (2022). Government data openness and knowledge management: configurational patterns for national competitiveness. Industrial Management & Data Systems, 122(12), 2710-2736.

[7] De Reuver, M., Ofe, H., Agahari, W., Abbas, A. E., & Zuiderwijk, A. (2022, December). The openness of data platforms: A research agenda. In Proceedings of the 1st International Workshop on Data Economy (pp. 34-41).

[8] Shan, J., Zhang, L., & Wang, J. (2025). Data elements and corporate stock dividends: A quasi-natural experiment based on government data openness. International Review of Financial Analysis, 97, 103846.

[9] Fang, J., Zhao, L., & Li, S. (2024). Exploring open government data ecosystems across data, information, and business. Government Information Quarterly, 41(2), 101934.

[10] Charne, J. G. (2021). Estrategias de optimización y análisis de performance en sistemas de almacenamiento distribuido (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

[11] Ramos, F. J. S. (2023). Datos abiertos y reutilización de la información: una mirada europea. Revista Canaria de Administración Pública, (Extraordinario), 37-64.

[12] Open Data Handbook. El manual de Open Data. (2025). Disponible en: https://opendatahandbook.org/guide/es/

[13] W3C. Publishing Open Government Data W3C Working Draft 8 September 2009. Disponible en: https://www.w3.org/TR/gov-data/

[14] Indarte, S., & Pazos Gutiérrez, P. (2011). Estándares e interoperabilidad en salud electrónica: Requisitos para una gestión sanitaria efectiva y eficiente. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, 1-54.

[15] Indarte, S., & Pazos Gutiérrez, P. (2011). Estándares e interoperabilidad en salud electrónica: Requisitos para una gestión sanitaria efectiva y eficiente. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, 1-54.

[16] Fernández, L. M., & Riestra, S. G. (2019). La protección de datos y la interoperabilidad en el ámbito sanitario: dos realidades inseparables. *DS: Derecho y salud*, *29*(2), 31-59.

[17] Mijangos-Espinosa, R., Rebollar, A. M., Estrada-Esquivel, H., & Pérez, Y. H. (2022). Uso de técnicas de Web Scraping para obtención automática de bases de datos en la Web. *Res. Comput. Sci.*, *151*(5), 143-157.

[18] Golmohammadi, A., Zhang, M., & Arcuri, A. (2023). Testing restful apis: A survey. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, *33*(1), 1-41.

[19] Álvarez Rodríguez, J. M. (2012). *Métodos semánticos de reutilización de datos abiertos enlazados en las licitaciones públicas* (Doctoral dissertation, Universidad de Oviedo).

[20] Cocón, F., Pérez-Cruz, D., Pérez-Rejón, J. Á., Zavaleta-Carrillo, P., Gómez-Ramón, R., & Barradas-Arenas, U. (2023). Web scraping: Las profesiones y el mercado laboral en México mediante el uso de plataformas de extracción de datos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E63), 187-199.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# UNI y BiomedCLIP en la detección no supervisada de núcleos celulares en citología de Papanicolaou

*Martín Nicolás Gramática, Mario Alejandro García, Sabrina Elmoni,*
*Lisando Octavio Ledesma*
*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba*
*mgramatica@frc.utn.edu.ar*

## Resumen

*La anotación manual de imágenes citológicas de Papanicolaou es un proceso costoso y demandante, lo que motiva la búsqueda de estrategias de apoyo basadas en inteligencia artificial. En este trabajo se propone un enfoque no supervisado para la identificación de núcleos celulares a partir de embeddings generados por modelos Transformer preentrenados. El método analiza y compara el procesamiento a través de representaciones visuales de BiomedCLIP y UNI con un esquema iterativo de clustering binario para separar progresivamente regiones de interés y detectar automáticamente núcleos con citoplasma.*

*La evaluación sobre un subconjunto del dataset CRIC muestra que ambos modelos son capaces de localizar núcleos relevantes, aunque con patrones distintos: UNI tiende a obtener mayor precisión y F1 promedio, mientras que BiomedCLIP ofrece una cobertura más amplia a costa de un mayor número de falsos positivos. Una revisión cualitativa revela que parte de estos falsos positivos corresponde en realidad a estructuras útiles no anotadas en el dataset, lo que resalta tanto la utilidad práctica del método como la necesidad de métricas adaptadas al contexto de anotación asistida.*

*En conjunto, los resultados evidencian que las representaciones basadas en Transformers constituyen una alternativa prometedora para acelerar la construcción de datasets en citología, reduciendo la carga manual de especialistas y mejorando la eficiencia del proceso de anotación.*

## Introducción

La digitalización de pruebas citológicas de Papanicolaou ha impulsado el desarrollo de herramientas de inteligencia artificial (IA) tanto para asistir en el diagnóstico como para la construcción de datasets anotados. Una de las tareas más críticas en este proceso es la identificación de núcleos celulares con citoplasma visible, ya que constituyen las principales unidades de análisis en el test de Papanicolau. Sin embargo, la anotación manual de estos núcleos es un procedimiento costoso y laborioso: no solo requiere que un experto determine la clase correspondiente a cada núcleo, sino también que localice y marque manualmente la caja delimitadora (bounding box) de cada célula.

Con el objetivo de explorar alternativas de anotación asistida, en este trabajo se propone un método no supervisado que combina representaciones (embeddings) obtenidas mediante modelos preentrenados de visión biomédica y técnicas de clustering iterativo basados en la aplicación sucesiva de k-means con dos clústeres. Este procedimiento permite separar progresivamente regiones de interés en la imagen y, en la etapa final, identificar automáticamente los núcleos celulares que suelen ser de relevancia en el etiquetado de este tipo de datasets.

En particular, se evalúa la factibilidad de utilizar embeddings generados, sobre imágenes CRIC [1], por dos modelos de amplio uso: BiomedCLIP [2] y UNI [3]. A partir de estos, se comparan los resultados obtenidos con el objetivo de analizar el potencial del enfoque como herramienta de soporte en la anotación de imágenes citológicas.

## Contexto y trabajos relacionados

Si bien la IA, principalmente a través del aprendizaje profundo, ha logrado en los últimos años grandes avances en el área de la medicina, estos avances, que se llevan a cabo en laboratorios de investigación, tienen poca aplicación en la práctica clínica [4-5]. Los desafíos que aún deben abordarse para que la IA pueda alcanzar su verdadero valor clínico han sido tratados en numerosos trabajos [5-12]. Los desafíos más importantes son (1) la obtención de grandes volúmenes de datos (imágenes, en el caso de pap test) etiquetados por expertos y que representen la variabilidad universal de los casos y (2), la explicabilidad de las decisiones.

Etiquetar datos es muy costoso y, lograr la cantidad necesaria para los métodos actuales, prácticamente imposible. Por esa razón, los esfuerzos se concentran en hacer más eficientes en datos a los algoritmos de entrenamiento o lograr resultados aceptables mediante entrenamiento débilmente supervisado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Con respecto a la explicabilidad, las redes neuronales son vistas como cajas negras, pero son el estado del arte en visión artificial. Uno de los caminos explorados es la búsqueda de modelos neuronales más interpretables. Los modelos fundacionales, que mapean a un espacio latente datos de distintos formatos, como texto e imágenes, ofrecen una oportunidad en ese sentido.

Existen trabajos que usan agrupamiento en tareas relacionadas con la detección temprana de cáncer cervical [13-15].

En un artículo reciente, Ando et al. [16] proponen un método para aprender representaciones (embeddings) explicables de células cervicales para imágenes de citología. El método genera representaciones mediante autoencoders variacionales y después aplica técnicas de clustering utilizando una distancia basada en la entropía cruzada. Según sus resultados, se puede calcular una puntuación para la anomalía celular sin necesidad de entrenar modelos con muestras anormales.

El trabajo de Ando et al. está alineado con nuestros objetivos de eficiencia de datos y explicabilidad. No solamente evita el desbalance entre las clases al utilizar solo casos sanos, como explica en el artículo, sino que directamente no usa etiquetado. Aprende los patrones generales que existen en las células sanas y después reacciona a la variación de las sospechosas.

Con el objetivo de continuar en la línea planteada por Ando et al., en este trabajo analizamos la información que proveen los embeddings de los transformers BiomedCLIP y UNI mediante un experimento simple. El experimento es la detección de núcleos para etiquetado asistido, tarea que reviste importancia dado que facilitaría la obtención de datos etiquetados. Para trabajos futuros, nos interesa saber si BiomedCLIP y UNI extraen las características morfológicas de las células que permitan hacer inferencia sobre las forma y tamaño de los núcleos celulares y su relación con la forma y tamaño de los citoplasmas. El interés en usar estos modelos fundacionales radica en el uso multimodal. La interacción de los modelos con el lenguaje puede ser una ventaja extra para lograr explicabilidad.

Con respecto al método de clustering utilizado, este es una modificación de Bisecting K-Means, el cual es a su vez una modificación del algoritmo estándar K-Means. Bisecting K-Means fue introducido para mejorar el rendimiento en algunas aplicaciones y crear una estructura a gran escala más regular en los clústeres resultantes. La idea central, explicada por Karypis et al. [17], implica un proceso iterativo de división del clúster más grande o diverso en dos subclústeres utilizando el método básico K-Means hasta alcanzar el número deseado de clústeres.

## Metodología

### Dataset

Para el estudio se empleó el conjunto de imágenes CRIC, ampliamente utilizado en investigaciones de citología de Papanicolaou. Este dataset está compuesto por imágenes a color, con una resolución de 1344×896 píxeles, obtenidas mediante una cámara fotográfica acoplada a un microscopio óptico con aumento de 40× (0.25 micrones por píxel).

Las muestras corresponden a preparaciones de citología cervical tradicional, teñidas con la técnica habitual de Papanicolaou. En ellas se observan células epiteliales escamosas y otros elementos frecuentes en este tipo de estudios, tales como núcleos aislados sin citoplasma, que suelen asociarse a fenómenos inflamatorios o a artefactos propios de la preparación.

Para este trabajo se seleccionaron 21 imágenes del dataset, cuidando que reflejaran condiciones relevantes para la tarea de detección de núcleos celulares, es decir:

- Presencia de células con núcleo y citoplasma claramente visibles.
- Inclusión de núcleos sin citoplasma, artefacto común en citología, generalmente asociado a procesos inflamatorios o a la preparación de la muestra.
- Fondo mayormente limpio, con escasos artefactos, excepto los definidos anteriormente.

Esta selección buscó garantizar que los casos analizados reflejaran las condiciones relevantes para la tarea de identificación automática de núcleos celulares.

Las 21 imágenes usadas para el análisis se presentan en la Figura 1. Por su parte, la **Figura 2** presenta las imágenes anotadas tal como se obtuvieron de CRIC, en donde las anotaciones anaranjadas corresponden a las células ASC-H, las violetas a HSIL, las azules a LSIL, las rojas a SCC, las verdes A NILM y las marrones a ASC_US. Esta clasificación no es relevante para este estudio ya que se busca detectar todos los núcleos celulares de interés, es decir, que corresponden a alguna de estas 6 clases. Sin embargo, se presenta a modo de referencia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



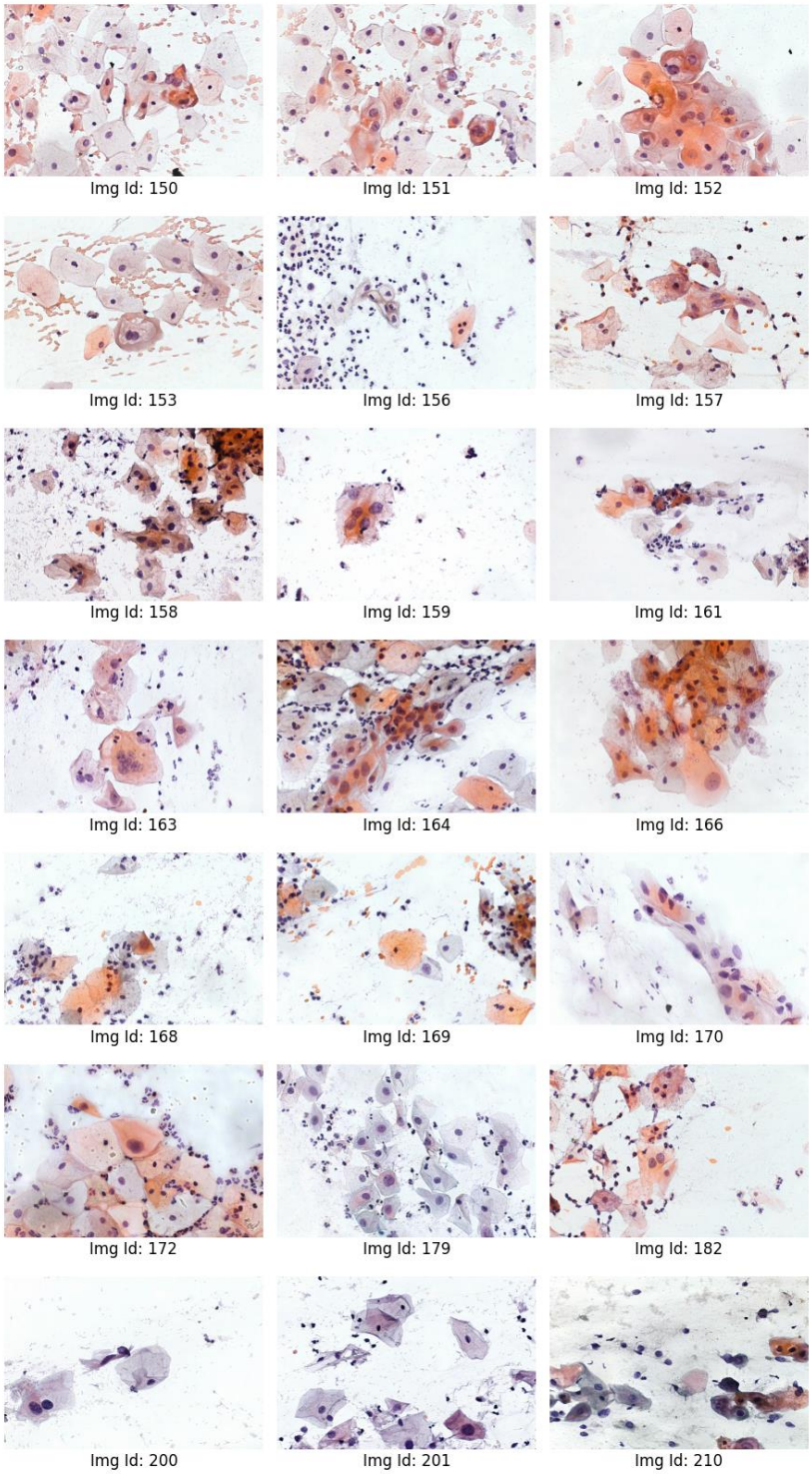



**Figura 1 – Imágenes de CRIC utilizadas en este estudio (sin anotaciones)**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



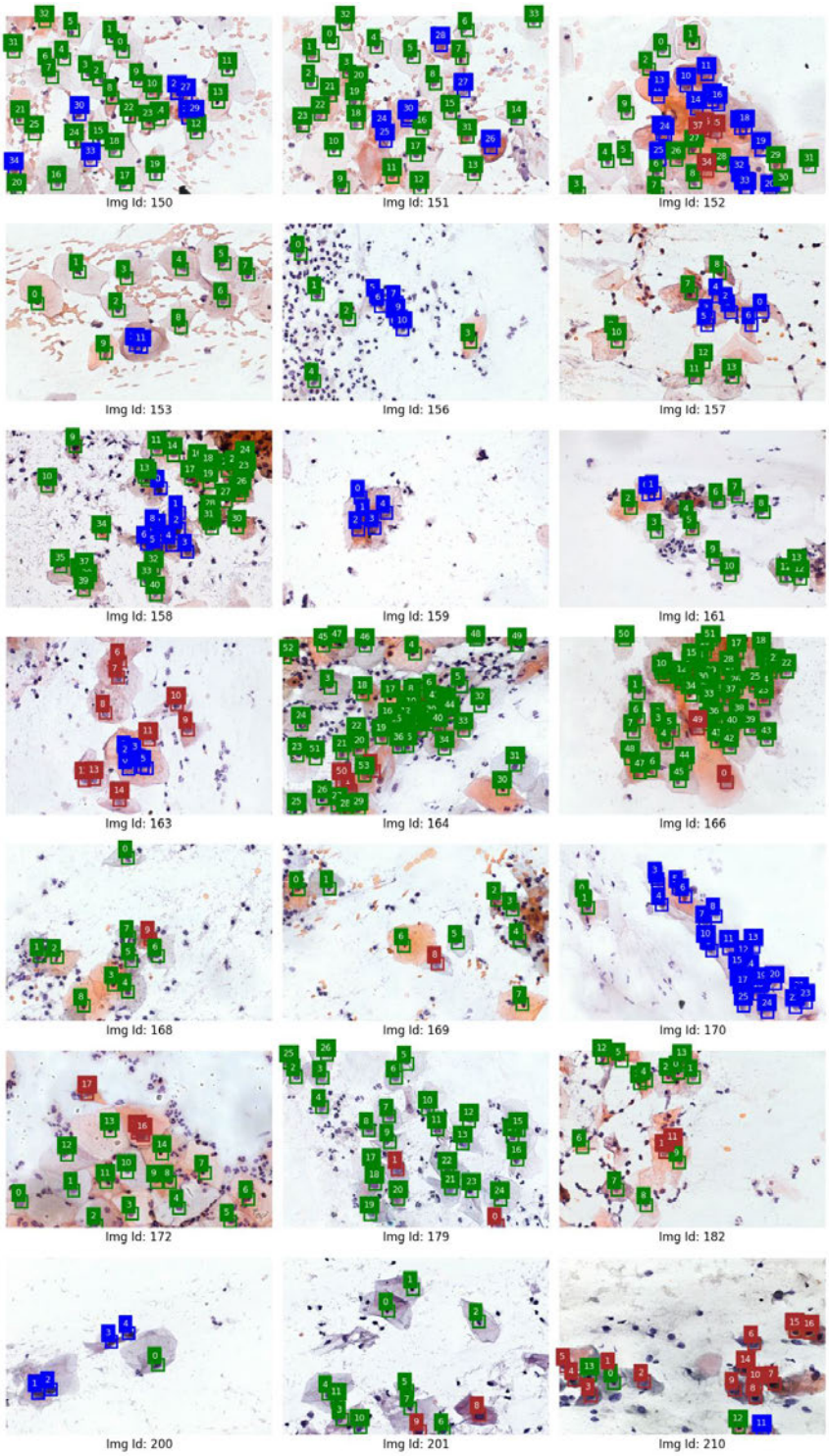



**Figura 2 - Imágenes de CRIC utilizadas en este estudio (con anotaciones)**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Procedimiento

El método propuesto se compone de dos etapas principales: (i) la extracción de representaciones vectoriales a nivel de patches mediante modelos Transformer preentrenados, y (ii) la aplicación sucesiva de clustering binario (k=2) para discriminar progresivamente los núcleos celulares de interés.

### Extracción de embeddings por patches

Cada imagen de 1344×896 píxeles se dividen en tiles no superpuestos de 224×224 píxeles, produciendo una grilla de 6x4 celdas por imagen.

Este valor se seleccionó porque se corresponde al tamaño de entrada estándar de los modelos CLIP y UNI, y en general, para la gran mayoría de variantes biomédicas basadas en Vision Transformers (ViT).

Cada celda se procesa mediante la función de preprocesamiento asociada al modelo (normalización y redimensionamiento), y se introduce al encoder visual, que corresponde a un ViT-B/16. La arquitectura divide el tile en una grilla de 14×14 patches de 16×16 píxeles cada uno. En total, se obtienen 196 embeddings por tile, organizados espacialmente en forma de grilla.

Se descarta el token de clase (CLS) y se conservan únicamente los embeddings de imagen. Todos los vectores se normalizan con L2 y se almacenan junto con las coordenadas de su patch en la imagen original. Con este procedimiento, cada imagen produce 4.700 embeddings (24 tiles × 196 tokens) como se muestra en la **Figura 3.**

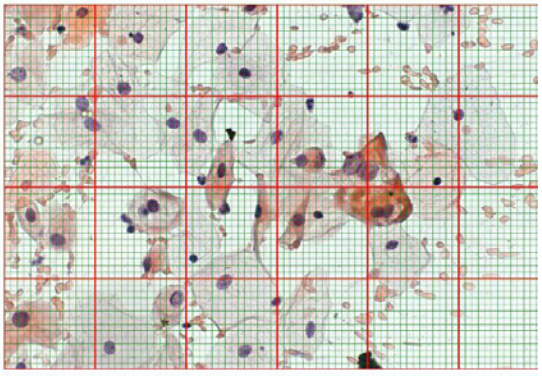


**Figura 3 - Imagen dividida en tiles y patches**

Como ya se mencionó, este estudio se centra en la comparación del pipeline implementado con dos variantes:

- BiomedCLIP: modelo multimodal preentrenado en texto e imágenes biomédicas. Este modelo fundacional no fue entrenado solamente con imágenes de patología digital, sino con imágenes biomédicas en general, incluyendo también imágenes de tomografías computadas, radiografías, mamografías, etc.
- UNI: modelo multimodal de propósito general en el contexto de patología digital. A diferencia del anterior, este modelo fue entrenado solamente con imágenes de patología digital.

### Clustering iterativo en cuatro pasos

El procedimiento de clustering se basa en una adaptación de bisecting K-means, que consiste en aplicar k-means con k=2 de forma iterativa sobre subconjuntos de embeddings seleccionados en cada paso mediante una función de selección específica. El objetivo es refinar progresivamente las regiones de interés hasta aislar los núcleos con citoplasma. En la **Figura 4** se presenta un resumen del pipeline completo, mientras que en la **Figura 5** se detallan los cuatro pasos de K-Means que se han utilizado.

1. Separación fondo/tejido
    - Entrada: todos los embeddings.
    - Selección del clúster: se etiqueta como fondo aquel con mayor brillo medio y menor saturación (*colorfulness*), mientras que el otro se asocia a tejido celular.
2. Separación citoplasma/núcleo
    - Entrada: embeddings del clúster tejido.
    - Selección del clúster: el clúster con menor intensidad en escala de grises se asocia a núcleos, y el otro a citoplasma.
3. Separación núcleo en citoplasma/núcleo aislado
    - Entrada: embeddings clasificados como núcleo.
    - Selección del clúster: el clúster con menor intensidad en escala de grises se asocia a núcleos sobre citoplasma, y el otro a núcleo aislado.
4. Depuración de fragmentos
    - Entrada: embeddings clasificados como núcleo en citoplasma.
    - Selección del clúster: se ejecuta un último *k*-means y se conserva el subclúster con mayor oscuridad y compacidad espacial, descartando fragmentos de citoplasma arrastrados.

En los pasos 2, 3 y 4 se utiliza la misma función de selección de clúster, bajo el supuesto de que el grupo de interés es aquel que contiene la mayor proporción de núcleos objetivo, caracterizados por presentar una tonalidad más oscura que el resto del contenido.

Esta estrategia ha mostrado un desempeño más consistente a nivel general en comparación con intentos alternativos más específicos, como el análisis de la vecindad de píxeles en los pasos 3 y 4, que no lograron generalizar buenos resultados para todas las imágenes.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



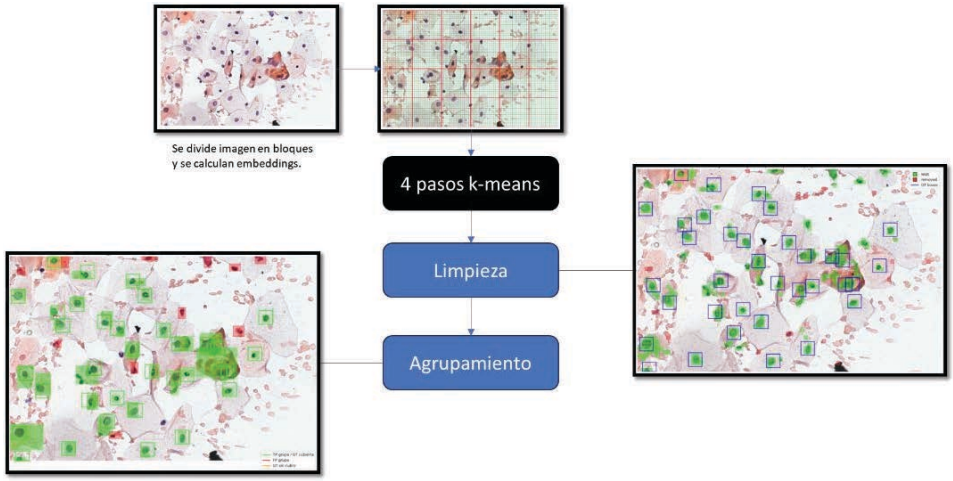



**Figura 4 - Procedimiento**

**Generación de detecciones**

Los patches seleccionados tras el último paso se proyectan en una máscara binaria sobre la resolución original. Se aplica un algoritmo de limpieza que toma los componentes conexos (8-vecinos) y agrupa los patches contiguos, descartando aquellos con menos de 3 patches. De esta forma se logra eliminar ruido y detecciones débiles. Cada componente conexa se traduce finalmente en una **caja delimitadora (bounding box)** que representa un núcleo detectado.

Para la evaluación, las predicciones se comparan contra las anotaciones del dataset CRIC usando un criterio de cobertura: una detección se considera correcta si cubre al menos el **20 %** del área de una caja de referencia.

**Evaluación**

Las detecciones se comparan contra las anotaciones de referencia del dataset CRIC empleando un criterio de cobertura: una predicción se considera correcta si cubre al menos el **20 %** del área de una anotación. Con este esquema se calcularon las siguientes métricas:

- Precisión de grupos (Precision): proporción de detecciones correctas respecto al total de predicciones.
- Cobertura de recall (Recall Coverage): porcentaje de anotaciones de referencia correctamente cubiertas por alguna detección.
- F1-score de cobertura: media armónica entre precisión y recall coverage.
- Número absoluto de falsos positivos (FP): detecciones que no pudieron ser asociadas a ninguna anotación de referencia.

La incorporación explícita de los falsos positivos como métrica independiente resulta fundamental en este dominio, dado que en muchos casos las detecciones clasificadas como FP corresponden a estructuras relevantes (núcleos con citoplasma) que no fueron marcadas en el dataset. De esta forma, el conteo de FP permite analizar la magnitud del "desfase" entre las anotaciones de CRIC y las detecciones efectivamente útiles para la tarea de anotación asistida.

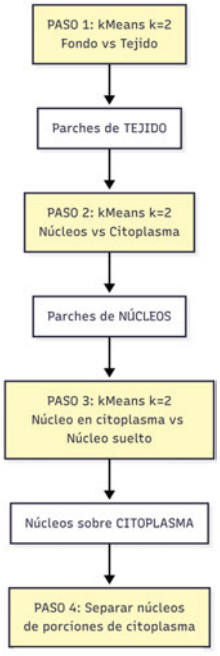



**Figura 5 - Cuatro pasos K-Means**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Resultados

Se evaluó el método sobre 21 imágenes seleccionadas del dataset CRIC. Para cada imagen se calcularon métricas de precisión de grupos, recall de cobertura, F1 de cobertura y número absoluto de falsos positivos. La **Tabla 1** resume los resultados promedio junto con la desviación estándar para cada métrica, mientras que la **Figura 7** muestra la precisión y recall para cada una de las 21 imágenes evaluadas.

**Tabla 1 - Resultados métricas**

| Métrica | BiomedCLIP | UNI |
|---|---|---|
| Precisión | 0.469 ± 0.254 | 0.587 ± 0.289 |
| Rec. cobertura | 0.856 ± 0.210 | 0.760 ± 0.271 |
| F1 cobertura | 0.574 ± 0.239 | 0.625 ± 0.257 |
| FP | 16.476 ± 13.775 | 8.714 ± 7.976 |
| TP | 14.238 ± 10.714 | 13.381 ± 11.093 |

Los resultados muestran que **UNI** logra un mejor equilibrio entre precisión y recall, alcanzando valores de F1 superiores en la mayoría de las imágenes. En contraste, **BiomedCLIP** presenta una mayor cobertura (recall promedio más alto), pero al costo de incrementar sustancialmente la cantidad de falsos positivos, lo cual reduce su precisión.

En términos cualitativos, ambas variantes son capaces de identificar núcleos con citoplasma visible, pero el nivel de ruido varía significativamente:

- Con **UNI**, los falsos positivos tienden a concentrarse en fragmentos de citoplasma o en núcleos parcialmente degradados.
- Con **BiomedCLIP**, los falsos positivos incluyen regiones más amplias y heterogéneas del fondo, reflejando una menor especialización del modelo en el dominio de patología.

Es importante destacar que una parte significativa de los falsos positivos corresponde a núcleos con citoplasma que no fueron anotados en el dataset CRIC, tal como se observa en la **Figura 6**. En dicha figura, las cajas verdes indican las anotaciones originales de CRIC correctamente detectadas por el método, mientras que las cajas rojas señalan detecciones clasificadas como falsos positivos. Sin embargo, debe notarse que estos falsos positivos corresponden en su totalidad a núcleos celulares con citoplasma, es decir, estructuras que según los criterios de este trabajo deberían considerarse detecciones válidas.

Esta discrepancia revela una limitación en la evaluación: el conteo de falsos positivos se incrementa incorrectamente debido a la ausencia de anotaciones en CRIC (sin una razón clara), lo cual penaliza de manera significativa las métricas cuantitativas. Por lo tanto, el número de FP debe interpretarse con cautela: más que errores del sistema, en muchos casos representan detecciones que cumplen con la definición de núcleo objetivo establecida en este estudio, y que resultan potencialmente útiles para la tarea de anotación asistida.

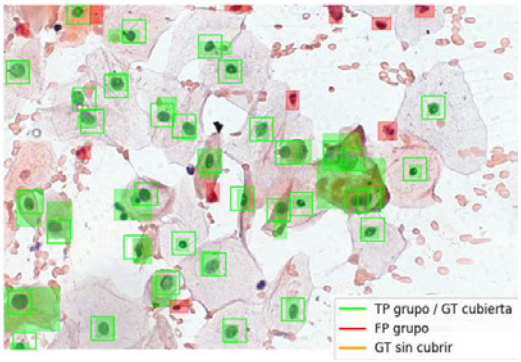



**Figura 6 - Falsos positivos incorrectos**

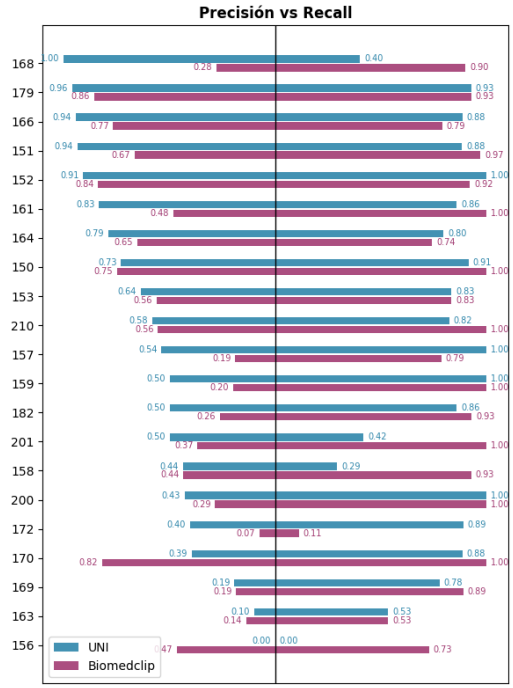



**Figura 7 - Precisión y recall usando UNI y BiomedCLIP**

## Discusión

Los resultados confirman que es posible identificar núcleos celulares en citología de Papanicolaou con un enfoque no supervisado basado en embeddings de Transformers, pero con comportamientos distintos entre modelos. BiomedCLIP es un modelo multimodal

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



biomédico de alcance amplio, entrenado con múltiples subdominios dentro de salud; UNI es más específico de patología digital. Esta diferencia de dominio se refleja en las métricas agregadas y, sobre todo, en la variabilidad caso a caso.

En promedio, UNI muestra una mejor precisión y un F1 ligeramente superior, consistente con su especialización en imágenes de patología digital. BiomedCLIP tiende a recuperar más estructuras nucleares y, por ende, logra mayor cobertura, con el costo de un mayor número de falsos positivos en varias imágenes. Este patrón es esperable cuando se contrasta un modelo generalista biomédico frente a uno más adaptado al dominio de patología digital.

Hay casos donde UNI supera claramente a BiomedCLIP; por ejemplo, en la *imagen 151*, en donde ambas variantes arrojan buenos resultados, pero UNI demuestra mayor capacidad para identificar más TP y menos FP, gracias a un mejor reconocimiento y diferenciación de núcleos y citoplasmas desde los primeros pasos del pipeline, tal como se muestra en la **Figura 9**.

También se observan situaciones mixtas, como la *imagen 168*, donde UNI logra un F1 mayor con muy alta precisión pero menor cobertura, y BiomedCLIP logra mayor cobertura con más falsos positivos, como se presenta en la figure **Figura 8.**

Un aspecto crítico para interpretar los números es el conteo de falsos positivos. En nuestra revisión cualitativa, una fracción relevante de estos FP corresponde a núcleos con citoplasma que no están anotados en CRIC. Dado que la evaluación usa un criterio de cobertura con umbral del 20 por ciento sobre las cajas de referencia, cualquier detección en regiones que corresponden posiblemente a un núcleo no anotadas se contabiliza como FP. Esto penaliza de forma sistemática un tipo de hallazgo que, en un flujo de anotación asistida, sería valioso para reducir el tiempo de marcado manual. Por eso proponemos reportar explícitamente FP junto con precisión, recall y F1, y considerar en un futuro un re-etiquetado de CRIC para adaptar las métricas a las expectativas del modelo.

Por último, el pipeline de k-means binario en cuatro pasos impone limitaciones. La división secuencial en dos clústeres puede fragmentar núcleos grandes o fusionar estructuras contiguas, y las heurísticas de decisión basadas en brillo, color y contexto son sensibles a variaciones de tinción, iluminación y artefactos. Aun así, el método muestra potencial como herramienta de soporte al anotado: localiza de forma automática regiones donde es probable encontrar núcleos con citoplasma, lo que permite a los especialistas concentrarse en validar y corregir en lugar de buscar desde cero.

### Fallas por propagación en el pipeline

Además de las diferencias promedio entre modelos, observamos fallas críticas en casos puntuales: cuando uno de los pasos del pipeline de k-means binario selecciona mal el clúster objetivo, la entrada del paso siguiente es incorrecta y el error se propaga hasta la salida final. Esto explica que, en algunas imágenes, un modelo rinda muy bien y el otro prácticamente colapse (precisión y/o recall 0).

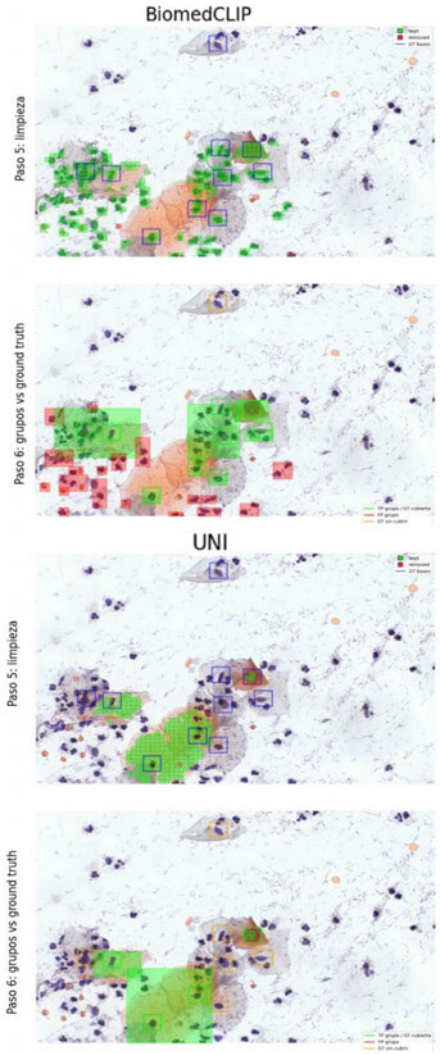



**Figura 8 - Resultados mixtos imagen 168**

En la imagen 156, UNI obtiene F1 = 0.000, mientras que BiomedCLIP alcanza F1 ≈ 0.569. Este patrón es consistente con una mala selección temprana del clúster en el paso 3, tal como se muestra en la **Figura 10**, en donde en vez de seleccionar el clúster 0 (verde), se seleccionó incorrectamente el clúster 1 (anaranjado) debido a que hay menos contenido de citoplasma. Este error hace que los embeddings a analizar en el paso 4 no sean los correctos y deja a UNI sin detecciones útiles al final. En el caso de BiomedCLIP, el paso 3 ya separó los citoplasmas de los núcleos a nivel general y por eso la selección del clúster de salida es correcta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Conclusiones

Este trabajo demostró que es factible identificar núcleos celulares en citología de Papanicolaou mediante un enfoque no supervisado basado en embeddings de modelos Transformer y clustering iterativo. Los experimentos evidencian que BiomedCLIP y UNI ofrecen desempeños complementarios: mientras UNI tiende a lograr mayor precisión y F1 en promedio, BiomedCLIP presenta una cobertura más amplia, aunque con un mayor número de falsos positivos. Una fracción considerable de estos falsos positivos corresponde a estructuras nucleares relevantes no anotadas en el dataset, lo que subraya tanto la utilidad práctica del método como la necesidad de métricas de evaluación más ajustadas al contexto de anotación asistida.

Asimismo, el análisis caso a caso mostró que la variabilidad en el desempeño depende fuertemente del dominio de entrenamiento de cada modelo y de las limitaciones inherentes al pipeline de clustering binario. A pesar de estas restricciones, la propuesta constituye una herramienta prometedora para acelerar la creación de datasets en citología, al reducir la carga manual de los especialistas y ofrecer un soporte inicial para la detección de núcleos celulares.

## Trabajo futuro

En trabajos futuros será necesario:

- Refinar los criterios de selección de clústeres mediante técnicas menos heurísticas, por ejemplo, clasificadores entrenados con un subconjunto anotado.
- Explorar métricas de evaluación alternativas, que contemplen la detección de núcleos no presentes en las anotaciones originales.
- Extender la validación a un mayor número de imágenes y a otros datasets de citología, evaluando la robustez del método en condiciones más heterogéneas.
- Extender generación de embeddings a otros modelos, no necesariamente basados en Transformers.
- Introducir variantes para la definición de los clústeres, indicando explícitamente ejemplos de núcelos objetivos, para guiar el clustering y reducir la variabilidad en los resultados.

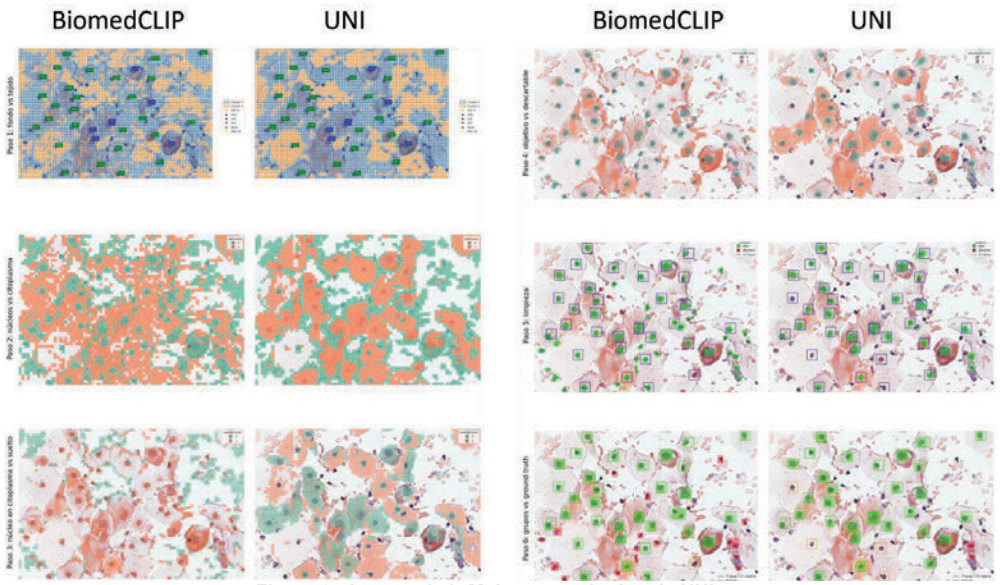



**Figura 9 - Imagen 151: Mejores resultados de UNI**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



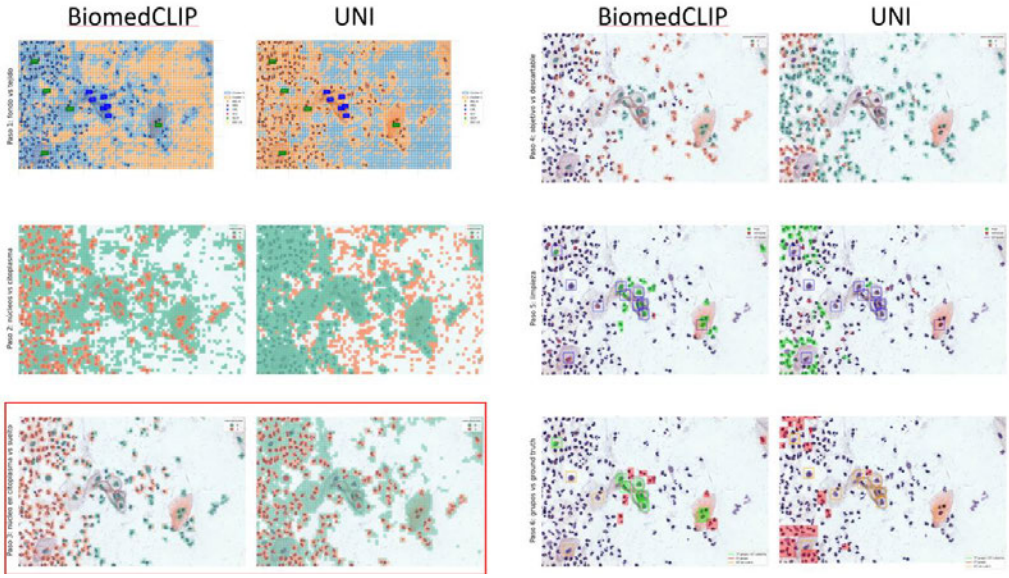



**Figura 10 – Falla crítica de UNI, desempeño aceptable de BiomedCLIP**

## Referencias

[1] Mariana T. Rezende, Raniere Silva, Fagner de O. Bernardo, Alessandra H. G. Tobias, Paulo H. C. Oliveira, Tales M. Machado, Caio S. Costa, Fatima N. S. Medeiros, Daniela M. Ushizima, Claudia M. Carneiro y Andrea G. C. Bianchi., "Cric searchable image database as a public platform for conventional pap smear cytology data", Scientific Data – Nature, June 2021.

[2] Sheng Zhang, Yanbo Xu, Naoto Usuyama1, Hanwen Xu, Jaspreet Bagga, et al., "BiomedCLIP: a multimodal biomedical foundation model pretrained from fifteen million scientific image-text pairs", NEJM AI, March 2023.

[3] Chen, R.J., Ding, T., Lu, M.Y., Williamson, D.F.K., Jaume, G., Bowen, C., Zhang, A., Shao, D., Song, A.H., Shaban, M., et al., "Towards a general-purpose foundation model for computational pathology", Nature Medicine, March 2024.

[4] (McGenity 2024) McGenity, C., Clarke, E. L., Jennings, C., Matthews, G., Cartlidge, C., Freduah-Agyemang, H., y Treanor, D. Artificial intelligence in digital pathology: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy. npj Digital Medicine, 7(1), 114. 2024.

[5] van der Laak, Jeroen, Geert Litjens, y Francesco Ciompi. "Deep learning in histopathology: the path to the clinic." Nature medicine 27.5: 775-784. 2021.

[6] Haug CJ, Drazen JM. Artificial intelligence y machine learning in clinical medicine, 2023. N Engl J Med 388(13):1201-1208. 2023.

[7] Yoshida, H., y Kiyuna, T. (2021). Requirements for implementation of artificial intelligence in the practice of gastrointestinal pathology. World journal of gastroenterology, 27(21), 2818.

[8] Kobayashi, Soma, Joel H. Saltz, y Vincent W. Yang. "State of machine and deep learning in histopathological applications in digestive diseases." World Journal of Gastroenterology 27.20 (2021): 2545.

[9] Reinke, Annika, et al. "Common limitations of image processing metrics: A picture story." arXiv preprint arXiv:2104.05642. 2021.

[10] Acs, Balázs, Mattias Rantalainen y Johan Hartman. "Artificial intelligence as the next step towards precision pathology." Journal of internal medicine 288.1: 62-81. 2020.

[11] Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. Nat Med 25(1):44-56. 2019.

[12] Colling, Richard, et al. "Artificial intelligence in digital pathology: a roadmap to routine use in clinical practice." The Journal of pathology 249.2: 143-150. 2019.

[13] Xue, Z., Guo, P., Desai, K. T., Pal, A., Ajenifuja, K. O., Adepiti, C. A., ... y Antani, S. (2021, June). A deep clustering method for analyzing uterine cervix images across imaging devices. In 2021 IEEE 34th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS) (pp. 527-532). IEEE.

[14] Sulaiman, S. N., Mat-Isa, N. A., Othman, N. H., y Ahmad, F. (2015). Improvement of features extraction process and classification of cervical cancer for the neuralpap system. Procedia Computer Science, 60, 750-759.

[15] Sharma, M., Singh, S. K., Agrawal, P., y Madaan, V. (2016). Classification of clinical dataset of cervical cancer using KNN. Indian J. Sci. Technol, 9(28), 1-5.

[16] Ando, Y., Cho, J., Park, N. J. Y., Ko, S., y Han, H. (2024). Toward Interpretable Cell Image Representation and Abnormality Scoring for Cervical Cancer Screening Using Pap Smears. Bioengineering, 11(6), 567.

[17] Karypis, M. S. G., Kumar, V., & Steinbach, M. (2000, May). A comparison of document clustering techniques. In

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



TextMining Workshop at KDD2000 (May 2000) (pp. 428-439).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema automatizado de envasado y control de medicamentos en polvo con monitoreo ambiental

*David Baltazar[1], Jorge Dominguez[1], Román Bond[1], Martín Morales[1,2], Diego Encinas[1,3],*

*[1]Proyecto SimHPC - TICAPPS, Universidad Nacional Arturo Jauretche - Instituto de Ingeniería y Agronomía.*
*[2]Unidad CodApli - Facultad Regional La Plata - UTN.*
*[3]Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) - Facultad de Informática - UNLP - Centro Asociado CIC.*

*{david18.baltazar, jorgedom.unaj}@gmail.com, {rbond, martin.morales, dencinas}@unaj.edu.ar*

**Abstract**
*En este proyecto, nos propusimos diseñar y desarrollar una línea automatizada para el envasado de medicamentos en polvo. Dada la importancia del control de ambiente de envasado el objetivo es desarrollar un sistema que no solo se enfoque en el envasado, sino que también monitorea de forma continua la temperatura y humedad del entorno. Esto nos permite reaccionar de inmediato y actuar en consecuencia si las condiciones cambian, protegiendo los medicamentos. Planteado el escenario en que los productos a envasar son sensibles a estos factores ambientales, intentamos adoptar un enfoque de sistema en tiempo real (STR), asegurando que el control sea rápido, preciso y confiable.*
*El objetivo real que nos planteamos fue desarrollar un prototipo de sistema estable,escalable y de relativo bajo costo para la industria farmacéutica pero haciendo énfasis en el correcto funcionamiento del sistema con el fin de obtener un buen punto de partida para un proyecto más elaborado,robusto y funcional.*

**Palabras Clave**
ESP32, simulación, industria farmacéutica, envasado automático, sensores de temperatura y humedad.

## Introducción

Los medicamentos en polvo son productos farmacéuticos que presentan características especiales debido a su composición. Entre estas se destaca su propiedad higroscópica, es decir la tendencia a absorber humedad del ambiente. Estos parámetros deben mantenerse dentro de rangos definidos para evitar, entre otros riesgos:

•Las temperaturas inadecuadas pueden acelerar reacciones químicas no deseadas.
•El crecimiento bacteriano se ve favorecido por ambientes cálidos y húmedos que puede alterar la estabilidad química, reducir la vida útil o incluso hacer ineficaces los medicamentos.
•El exceso de humedad puede hacer que el polvo se aglutine, se degrade o pierda efectividad.

Es por esto que en la industria farmacéutica, garantizar que estos productos se envasen en condiciones controladas de temperatura y humedad es fundamental para preservar su calidad.

Las regulaciones para el envasado suelen ser generales dado que se recomienda adaptar los límites a cada proceso o producto, considerando factores como la precisión de los instrumentos y el confort del personal. Además se aconseja establecer estrategias de monitoreo y alarmas para asegurar condiciones ambientales estables y seguras.

Con esta motivación nos propusimos intentar desarrollar una máquina envasadora de medicamentos que tuviera en cuenta las variables ambientales y pudiera reaccionar en tiempo real para ajustar su funcionamiento y permitir un envasado seguro.

## Descripción

La idea fue obtener una maqueta en la que se simulara la interacción entre los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



diferentes componentes pero con intervención humana dado que desarrollar una cinta transportadora real tiene como desafío la complejidad tanto técnica como material para obtener un funcionamiento óptimo. Con esta idea se planteó que iban a existir equivalencias entre lo que sería un prototipo 100% funcional y lo que construimos nosotros, la cuales son:

•El movimiento del servo es equivalente a la apertura de la tolva de llenado.
•El giro del motor stepper es equivalente al movimiento de la cinta transportadora.
•El led rojo es equivalente al sistema de aire acondicionado.
•El led amarillo es equivalente al sistema deshumidificador.

**Componentes**

MICROCONTROLADOR ESP32 WROOM 32: Es un módulo de microcontrolador que combina Wi-Fi y Bluetooth, basado en el potente chip ESP32 de Espressif Systems. Ofrece un procesador dual-core de 32 bits, 520 KB de RAM, y hasta 4MB de Flash, ideal para proyectos de IoT y automatización. Dispone de múltiples interfaces como GPIO, PWM, ADC, DAC, SPI, I2C, y UART, permitiendo una fácil integración de sensores y actuadores. Su diseño compacto y versatilidad lo hacen popular para proyectos conectados.

Servo Tower PRO SG90 9G: El Servo Tower Pro SG90 9G es un micro servo ligero y económico con un rango de movimiento de 0° a 180°, ideal para proyectos de robótica y automatización.
Funciona a 5V con par de 1.8 kg/cm y tiempo de respuesta rápido. Modulo driver ULN2003+Motor Stepper Paso a Paso 28BYJ-48 5V: El módulo driver ULN2003 permite controlar un motor stepper unipolar de 5V o 12V.
El 28BYJ-48 5V es un motor stepper unipolar de bajo costo,precisión moderada e ideal para aplicaciones con cargas livianas. Funciona con 5 V, tiene 64 pasos por vuelta y gracias a su caja reductora de 1/64 ofrece una resolución efectiva de 4096 pasos por vuelta.
SENSOR PESO: Módulo Amplificador HX711 para celda de carga+celda de carga 1kg para módulo HX711.
El módulo amplificador HX711 es un convertidor ADC de 24 bits diseñado para leer señales de celdas de carga con alta precisión, ideal para aplicaciones de pesaje. Utiliza comunicación serial (SCK y DT) para conectarse al microcontrolador
La Celda de carga de 1 kg es un sensor de pesaje diseñado para medir peso en aplicaciones pequeñas, como balanzas de precisión. Trabaja en conjunto con el HX711, proporcionando mediciones precisas y estables.
Sensor de temperatura y humedad DHT22
El DHT22 es un sensor de temperatura y humedad digital, económico y fácil de usar, con precisión de ±2°C para temperatura y ±5% RH para humedad. Ideal para proyectos básicos de monitoreo ambiental.
Componentes extras
•Pulsador.
•Resistencia 4K7Ω 1/4W( resistencia pull-up entre el pin de datos y VCC ).
•Módulo semaforo (led R-G-Y con resistencias incorporadas).
•Fuente para protoboard 3.3V-5V.
•Fuente de alimentación: 5VDC 2A y 12VDC 2A .
•Cables de conexión.
•Protoboard.

**Requisitos funcionales**

Con el objetivo de lograr un sistema automatizado eficaz y adaptado al entorno farmacéutico, se definieron una serie de requisitos funcionales y no funcionales que orientaron el diseño e implementación del proyecto. Estos requisitos especifican tanto las acciones que el sistema debe ejecutar como las cualidades que debe mantener para garantizar un desempeño confiable, preciso y eficiente.
Estos son los comportamientos específicos que el sistema debe cumplir:
RF1 - Transporte automatizado de envases:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El sistema debe transportar los envases mediante una cinta hasta la estación de llenado.

RF2 - Llenado preciso del envase:
La tolva debe liberar el medicamento en polvo hasta alcanzar el peso preestablecido, detectado por un sensor de carga.

RF3 - Monitoreo ambiental continuo:
El sistema debe medir y registrar en tiempo real la temperatura y humedad relativa del entorno.

RF4 - Activación automática de sistemas de corrección ambiental: Si la humedad excede el umbral, se debe activar un deshumidificador (simulado con LED amarillo).
Si la temperatura sale del rango, se debe activar un sistema de calefacción o enfriamiento (simulado con LED rojo).

RF5 - Control por tiempo real (STR): El sistema debe tomar decisiones inmediatas ante cambios en el entorno para preservar la calidad del producto.

RF6 - Alerta visual: Se deben encender LEDS según las condiciones: amarillo para humedad, rojo para temperatura, verde para condiciones normales.

**Requisitos no funcionales**

Estos son atributos de calidad que debe tener el sistema: RNF 1 - Precisión del sistema de pesaje:
El margen de error en la medición del peso no debe superar el ±5%.
RNF 2 - Escalabilidad: El sistema debe ser adaptable para integrar más sensores o nodos de control en el futuro (ej. Sensor de presión atmosférica).
RNF 3 - Costos razonables: El costo total del sistema debe mantenerse dentro del presupuesto establecido sin comprometer la funcionalidad. RNF 4 - Bajo consumo energético:
El sistema debe optimizar el uso de energía, utilizando componentes de bajo consumo (como sensores DHT11 y ESP32 en modo eficiente).
Se elaboraron los diagramas de flujo y de flujo de datos que representan gráficamente la lógica de operación del sistema.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



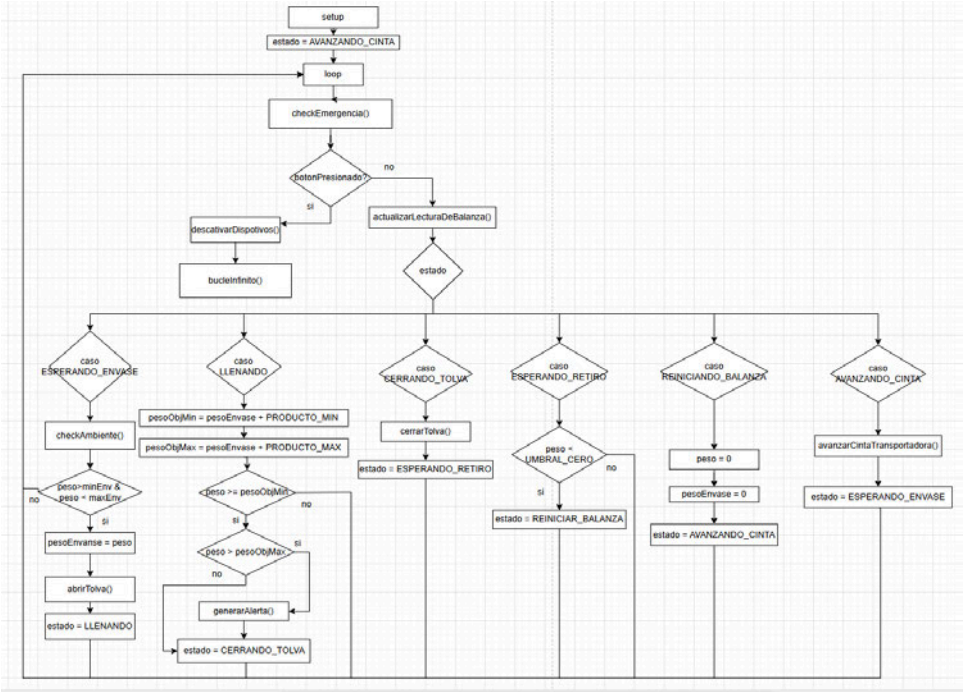



Figura 1. Diagrama de flujo.

Estos diagramas permiten visualizar la secuencia de pasos que sigue el sistema desde el inicio del proceso de envasado hasta la activación de alertas y correcciones ambientales, así como la interacción entre los diferentes módulos: sensores, actuadores, controladores y salidas visuales.

**Descripción del funcionamiento**

En el código desarrollado se implementó una máquina de estados finitos que guía el funcionamiento del sistema en distintas etapas del proceso de envasado. Cada estado representa una acción definida, como esperar un envase, realizar el llenado, cerrar la tolva, esperar el retiro del envase, reiniciar la balanza y avanzar la cinta transportadora. El flujo entre estados está determinado por condiciones específicas que se cumplen durante la ejecución, como la detección del peso adecuado, la estabilidad de las mediciones o la retirada del envase. Además, el sistema realiza lecturas de temperatura y humedad mediante un sensor DHT22 activando los leds del módulo semáforo led que simulan sistemas de control ambiental. La estructura del programa tiene un flujo ordenado y predecible que representa un primer acercamiento a sistemas de control en tiempo real. Se tuvo en cuenta como medida de seguridad como una parada de emergencia por interrupción externa y se aplicaron filtros para mejorar la estabilidad de las lecturas de la celda de carga con el fin de obtener un sistema en cierta forma robusto.

**Simulación de proyecto**

Se utilizó la plataforma Wokwi un simulador online de Arduino y ESP32 para simular el comportamiento del sistema en condiciones controladas, permitiendo validar la lógica de control,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



interacciones entre sensores/actuadores, y la respuesta en tiempo real.

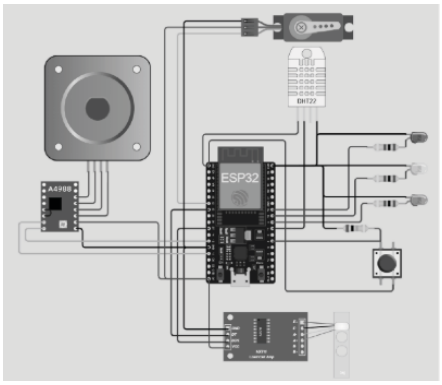



Figura 2. Implementación del circuito en Wokwi, distribución de componentes y conexiones con el ESP32.

```
load:0x40080400,len:2972
entry 0x400805dc
[SERVO] Inicializado en posición cerrada
[SISTEMA] Inicialización completa
--------------------------------
Temp: 11.80°C | Hum: 44.5%
```

Figura 3. Captura de consola donde se visualiza la lectura y visualización de temperatura y humedad en tiempo real.

Se valido la activación automática de alertas visuales LEDs ante condiciones ambientales fuera del rango, el led amarillo al superar humedad del umbral establecido y led rojo al superar la temperatura al umbral establecido.

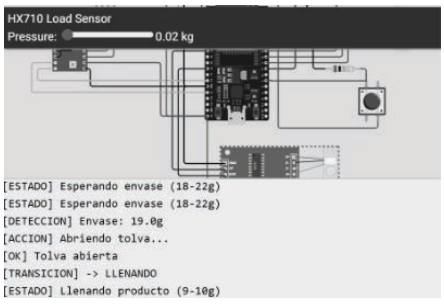



Figura 4. Detección de envase (18-22g) mediante celda de carga.

Se validó el funcionamiento del sistema de pesaje y el control del llenado de los envases mediante el servo. Durante la simulación, el peso del envase se asigna manualmente para emular la lectura del sensor de carga. Para el llenado del producto el peso del mismo se debe sumar al peso del envase.
Una vez que el sistema detecta el retiro del envase, se acciona el motor paso a paso para mover los envases en la cinta transportadora.
Inicialmente la simulación en Wokwi aceleró el desarrollo, pero no anticipó problemas que se presentaron en la implementación física como la calibración en la celda de carga y falsos contactos en las conexiones eléctricas.

**Prueba del proyecto en la maqueta**

En la maqueta la prueba del proyecto se realizó de la siguiente manera donde el sistema atravesó los siguientes estados:
[ESPERANDO_ENVASE]: Cuando se inicia el sistema el mismo se encuentra en este estado y se verifica constantemente si se colocó un envase sobre la balanza. El led verde permanece encendido si la temperatura y humedad están en el rango óptimo.
[PONER_ENVASE]: Como operadores colocamos manualmente un envase vacío sobre la plataforma de pesaje,dicho envase es en la demostración el plato verde. El sistema verifica si el peso se encuentra dentro del rango aceptable (aproximadamente entre 18 gr. y 22 gr.), y que la lectura sea estable durante al menos 1 segundo. Si el envase cumple con los requisitos se pasa al siguiente estado.

[LLENANDO]: El servomotor abre la tolva para dejar caer el producto en polvo. Durante esta etapa, el sistema monitorea el peso total hasta alcanzar el objetivo programado (aprox. 9–10 g adicionales al peso del envase). Si detecta sobrellenado,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



lo reporta al monitor serial. En nuestro caso el peso total estaba representado por una tuerca.
[CERRANDO_TOLVA]: Una vez alcanzado el peso adecuado(colocada la tuerca en plato), el servo cierra la tolva para detener el llenado.
[ESPERANDO_RETIRO]: El sistema espera que el operador retire manualmente el envase. Se monitorea el peso hasta que la lectura sea cercana a cero (por debajo de 1 g), lo que indica que el envase fue retirado correctamente.
[REINICIANDO_BALANZA]:La balanza se tara nuevamente para asegurarse de que el próximo ciclo comience desde cero, limpiando también las variables de peso.
[AVANZANDO_CINTA]: El motor paso a paso avanza la cinta transportadora una posición simulando el desplazamiento del siguiente envase al punto de llenado.
[ESPERANDO_ENVASE]: Se reinicia el ciclo esperando un nuevo envase el cual se verá interrumpido sólo si se aprieta el botón de parada.

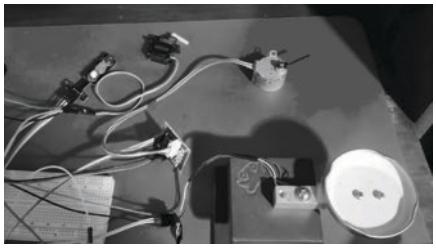


Figura 5. Maqueta de prueba.

**Trabajos Relacionados**

Al estudiar los trabajos relacionados con este proyecto nos enfocamos por una parte ver lo que se había realizado en un nivel experimental y yendo al otro extremo conocer las soluciones que la industria farmacéutica tiene implementadas. Una vez investigados ambos aspectos pudimos trazar un paralelismo y encontrar similitudes, diferencias y finalmente conocer en qué nivel se encuentra el proyecto realizado.

Proyectos Hobby/DIY/experimentales

Buscamos en GitHub como fuente seria para publicar proyectos y nos centramos en uno en particular:

- VibroDoser

Proyecto open-source de dosificación de polvos para laboratorio o pequeña escala, con Raspberry Pi, celda de carga HX711 y motor vibrador. Su software en Node-RED permite control y registro de la dosificación en tiempo real, combinando hardware accesible con programación visual [1].

Si analizamos el hardware se podría decir que es similar a nuestro proyecto, pero al basarse en Node-RED es una solución más robusta y eficiente por lo cual si tuviéramos que construir el proyecto nuevamente investigaríamos más este enfoque. Por otro lado, este proyecto no tiene control de temperatura y humedad, pero intuimos que se podría agregar con facilidad.

Soluciones profesionales

Al investigar soluciones profesionales de llenado de polvos en la industria farmacéutica tomamos como referencia uno de los modelos más avanzados.

- C500

Fabricada por 3P Innovation en el Reino Unido es una máquina semiautomática de llenado de cápsulas diseñada para la producción farmacéutica clínica y de investigación. Está equipada con control ambiental (temperatura, humedad y esterilidad), sistemas de vacío para posicionamiento preciso y procesos de esterilización mediante HPV, WIP y CIP, cumpliendo con estándares GMP(buenas prácticas de manufactura). Utiliza tecnología gravimétrica Fill2Weight para dosificar polvos con alta precisión, incluyendo polvos desafiantes y cápsulas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



HPMC o de gelatina dura, y ofrece interfaz de usuario avanzada con PLC y pantalla táctil, gestión de recetas y capacidad de hasta 500 cápsulas/hora. Su diseño compacto permite trasladarla entre laboratorios, y su versatilidad permite llenar cápsulas, viales, cartuchos y dispositivos de un solo uso, reduciendo tiempos de desarrollo y preservando la integridad de polvos sensibles.[2]

Si la comparamos con nuestro prototipo vemos que incluye muchas más funcionalidades como ser la esterilización, control de diferentes tipos de polvos para evitar por ejemplo apelmazamiento.

Comparación entre soluciones experimentales y profesionales.

Se puede observar que las soluciones profesionales tienen en cuenta regulaciones y muchos factores respecto a los medicamentos y polvos que son específicos de estos productos como ser:

- Control de vacío
- Esterilización y control de asepsia
- Control ambiental
- Dosificación gravimétrica (Fill2Weight)
- Automatización y control PLC/HMI
- Cintas transportadoras y manipulación de cápsulas
- Compatibilidad con cápsulas HPMC y gelatina

Conclusiones basadas en el relevamiento de algunos proyectos y soluciones profesionales.

Luego de ver diferentes tipos de proyectos, así como de productos comerciales podemos concluir que el nuestro tiene potencialidad de mejorar en algunos aspectos (conectividad, acceso remoto para configuración y notificaciones), pero solo en modo experimental. Si deseáramos construir algo más fiable podríamos tomar como base el trabajo realizado, pero deberíamos buscar hardware más robusto (PLC, por ejemplo), investigar tratamiento y envasado de medicamentos, normas GMP y seguramente abordarlo con otras disciplinas como la electromecánica, electrónica y química lo cual requeriría capacitación por nuestra parte e incluir un equipo de trabajo.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

La simulación del sistema tanto en la plataforma Wokwi como en la maqueta física presentó comportamientos similares en términos generales. Sin embargo, existieron diferencias notables derivadas de las limitaciones del entorno virtual, que no tiene en cuenta algunas variables propias de una implementación real. Entre ellas nos encontramos con las siguientes:

•Falsos contactos en el protoboard y los cables, ocasionados en parte por las vibraciones generadas por el servo y el motor paso a paso.

•Sensibilidad de la celda de carga: dado que esta mide el peso a partir de su deformación mecánica, su precisión depende del punto exacto donde se apoye el envase. Durante las pruebas, se observaron variaciones en las mediciones según la ubicación del recipiente sobre la celda. Este inconveniente podría haberse reducido mediante el diseño de una superficie de apoyo más estable, similar al plato de una balanza tradicional que distribuye la carga sobre un único punto óptimo.

•Necesidad de calibración: en la maqueta fue necesario realizar ajustes manuales tanto del plato (tara) como de los valores asociados al envase y al producto. Esto fue importante para lograr una representación parecida a como sería un sistema de producción real. Si el proyecto tuviera un desarrollo más maduro contaría con una pantalla y botones de ajuste, permitiendo al usuario configurar variables como el peso del envase, la cantidad de producto y los umbrales de temperatura/humedad adaptándose así a distintos tipos de productos farmacéuticos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



•Tuvimos que tener en cuenta los retornos a masa y las características de voltaje(3.3v o 5v) y amperaje de cada componente dado que el ESP32 no era capaz de suministrar la potencia necesaria al incluir motores.
Algunas de las posibles mejoras que se pueden implementar en el prototipo son:
Pantalla LCD: Para configurar y ver el estado de la máquina.
Interfaz web: Gracias a la conectividad WIFI del microcontrolador se podría implementar acceso para configurar y ver estado.
Buzzer: Para tener sistema de alarmas ante anormalidades críticas como ser envase mal colocado o falla.

Módulo de memoria externa (microSD) combinado con módulo RTC (reloj de tiempo real):Para almacenar logs de diferentes ciclos de envasado.
Sensor infrarrojo (IR):Para obtener redundancia sobre el posicionamiento del envase.
•Implementar concurrencia: Para acelerar el ciclo de envasado.

El presente proyecto nos permitió acercarnos al diseño e implementación de un sistema en tiempo real. Si bien nuestro objetivo no requería una estructura demasiado compleja, nos dio una idea clara de que al escalar el sistema se deben tener en cuenta múltiples factores para lograr un producto estable, tolerante a fallos y ajustado a estándares industriales. Durante el proceso de depuración entendimos que incluso en proyectos pequeños, los detalles en hardware y software influyen directamente en el resultado final dado que fueron los que más tiempo nos demandaron. Si tuviéramos que repetirlo, seguramente optaríamos por desarrollarlo con FreeRTOS, ya que nos hubiera permitido una mejor gestión de tareas, interrupciones y tiempos, simplificando algunos de los desafíos que enfrentamos y abriendo la puerta a un diseño más profesional y escalable. En cuanto a la simulación,
Wokwi es una buena herramienta para el desarrollo inicial y validación de lógica, sin embargo no reemplaza las pruebas físicas, especialmente en sistemas embebidos donde las condiciones reales influyen fuertemente en el comportamiento del sistema.

**Referencias**

[1] marfis89, *VibroDoser*, proyecto open-source en GitHub, 2023. Disponible en: https://github.com/marfis89/vibroDoser/blob/main/README.md

[2] 3P Innovation, *C500 Powder Filling Machine*, página oficial. Disponible en: https://www.3pinnovation.com/pharma-equipment/explore-range/semi-automated-capsule-filler-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema de clasificación y separación de residuos inteligente mediante visión artificial

Braian Pezet[1], Lucia Osés[1], Mauro Salina[1], Marcelo Cappelletti[1,2], Jorge Osio[1,2], Nicole Denon[1], Mauro Gomez[1], Martin Morales[1,3]

1. Programa TICAPPS, Univ. Nac. Arturo Jauretche, Florencio Varela (1888), Argentina.
2. Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI (UNLP-CONICET), La Plata (1900), Argentina
3. Centro UTN CODAPLI-FRLP, Berisso, Argentina.

{braianpezet, luciaoses1997} @gmail.com {mdsalina, josio, mcappelletti, nadenon, mfgomez} @unaj.edu.ar

## Resumen

*Este trabajo se enfoca en el desarrollo de un sistema de clasificación de objetos para ser utilizado en un separador de residuos inteligente, empleando técnicas de Aprendizaje Profundo (Deep Learning). Se crearon modelos de redes neuronales convolucionales (CNN) capaces de identificar distintos objetos reciclables en diferentes imágenes, en tiempo real. Se llevaron a cabo pruebas con distintos datasets y diferentes modelos. En todos los casos se realizó clasificación multiclase. En los primeros modelos se contó con aproximadamente 8000 imágenes divididas en 4 clases (plástico, vidrio, metal, papel-cartón), y para modelos posteriores se incrementó el dataset contando con más de 15000 imágenes separadas en 6 clases distintas, agregando a las anteriores las clases "orgánico" y "no-reciclable". La implementación de estos modelos se llevó a cabo utilizando el lenguaje de programación Python, empleando el algoritmo de detección en tiempo real "You Only Look Once" (YOLO). Como parte del proceso de validación, el modelo final fue probado en una aplicación (versión beta) desarrollada para un ESP32-CAM. Este sistema permite analizar en tiempo real los fotogramas capturados por la cámara y aplicar el modelo de clasificación de manera instantánea, accionando un mecanismo que hace girar el sistema de cestos para que el residuo sea depositado en el compartimiento correspondiente al material detectado. Además, se diseñó una interfaz gráfica de usuario (GUI) para mejorar la interacción con el sistema y proporcionar información relevante sobre el residuo identificado.*

## Introducción

Una de las problemáticas actuales que demanda de soluciones inmediatas, se centra en la importancia del reciclaje y cuidado del medio ambiente. Reciclar es de suma importancia para la sociedad, debido a que, supone la reutilización de elementos u objetos ya utilizados, los

que de otro modo serían desechados contribuyendo al aumento de la formación de basura y al daño ambiental permanente [1].

En la actualidad existen normativas e iniciativas estatales y privadas que apoyan la recuperación de residuos, cooperativas de recicladores urbanos, contenedores, puntos verdes y también recicladores informales. Pero aun así, el problema de la basura sigue siendo un desafío colectivo. Es por ello que se considera sumamente importante el reciclado de desechos para el cuidado del medioambiente. En nuestro país, cada dos segundos se produce una tonelada de basura. Una fracción grande de ella termina en rellenos sanitarios que están al borde del colapso [2]. Por lo tanto, la clave es profundizar el cambio cultural para dejar de pensar al residuo como un desecho y entenderlo como un recurso.

El consumo y la producción sostenibles (CPS) [3] trata de desvincular el crecimiento económico de la degradación ambiental, aumentar la eficiencia de recursos y promover estilos de vida sostenibles.

Actualmente estamos consumiendo más recursos que nunca, superando la capacidad de generación del planeta. Mientras tanto, aumenta el impacto en términos de uso de recursos, degradación ambiental, desechos y contaminación.

Teniendo en cuenta los avances tecnológicos y la innovación, se busca diseñar soluciones eficientes que puedan inspirar y motivar a las personas a llevar estilos de vida más sostenibles, reduciendo los efectos negativos y aumentando el bienestar.

Las adquisiciones sostenibles permiten a nivel nacional, regional y mundial reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la eficiencia de los recursos y apoyar el reciclaje.

Argentina se encuentra dentro de la agenda 2030 de desarrollo sostenible [4], Meta 12.5: de aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

Para llevar a cabo la implementación del presente trabajo, se utilizó la Inteligencia Artificial (IA). Una de las áreas en donde la IA avanzó notablemente en los últimos años es en la de detección de objetos y clasificación de imágenes. Esto se debe en su mayor parte al desarrollo de nuevas técnicas de Machine Learning (Aprendizaje Automático) como el Deep Learning (Aprendizaje Profundo), además de las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



innovaciones en el manejo de Big Data (datos a gran escala) y el aumento en la capacidad de cómputo mediante el uso de diferentes tecnologías como Cloud Computing (computación en la nube) o el uso de GPU (unidad de procesamiento gráfico) para el análisis de información. Este avance puede verse en distintas áreas como: medicina, seguridad, turismo, finanzas, robótica, entre otras. Algunos ejemplos de dichos avances en el área se aplican en: control de vehículos autónomos, detección de rostros, detección de matrículas, diagnóstico de enfermedades, realidad aumentada, etc [7-14].

Machine Learning es un subcampo de la IA en el que se utilizan diferentes algoritmos para recolectar datos, y con éstos realizar un aprendizaje para luego hacer una predicción o sugerencia sobre algo [11]. De esta manera se permitirá resolver problemas de forma intuitiva y automatizada, sin que el mecanismo de elección se encuentre previamente programado. En la práctica esto se traduce en una función matemática en la que se parte de una entrada y se obtiene una salida, por lo que el desafío reside en construir un modelado automático de esta función matemática.

Deep Learning es un subcampo de Machine Learning, pero existen técnicas de Machine Learning que no utilizan Deep Learning. Este último es utilizado para realizar procesos de Machine Learning empleando redes neuronales artificiales compuestas por varios niveles jerárquicos. En el nivel inicial la red aprende patrones simples, y esta información se envía al siguiente nivel de la jerarquía. Este segundo nivel toma la información obtenida en el primero y la combina con nuevos patrones aprendidos en este, generando información un poco más compleja, la cual es pasada a un tercer nivel, y así sucesivamente [14].

Dentro de Deep Learning existen varias ramas como redes neuronales, redes neuronales convolucionales o redes neuronales recurrentes. Todas estas arquitecturas son utilizadas en diferentes campos.

En la literatura, se pueden encontrar trabajos previos relacionados con recolectores de residuos inteligentes [5-6]. En [5] se plantea un basurero inteligente para ciudades, que consiste en contenedores con hardware basado en un microcontrolador y un sensor infrarrojo. Los datos son enviados mediante un módulo GPRS. En [6] se propone una solución similar, con la diferencia en que utiliza tags RFID para verificar y controlar a los vehículos recolectores. Los vehículos también tienen un módulo GPRS; además, se usan aplicaciones móviles para la monitorización de los contenedores y la implementación de un servicio en la nube llamado ThingSpeak para almacenar los datos.

El presente trabajo se enfocó en el desarrollo de una aplicación de software encargada de realizar la clasificación de imágenes en tiempo real, con el objetivo de detectar la presencia de objetos reciclables contenidos en la imagen o video. El desarrollo se basó específicamente en el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) aplicadas a la detección y clasificación implementando el algoritmo "You Only Look Once" (YOLO) Versión 8 para garantizar una alta precisión y velocidad en la identificación.

El sistema de clasificación se integró con una ESP32-CAM donde las imágenes son procesadas y analizadas instantáneamente, permitiendo que el residuo detectado sea clasificado de acuerdo con su tipo (papel, vidrio, plástico, orgánico, etc).

Una vez que el tipo de residuo es identificado, el sistema activa un mecanismo controla la rotación de los cestos, lo que asegura que el residuo sea depositado en el compartimiento correspondiente, optimizando el proceso de reciclaje, haciendo que la separación sea eficiente.

Además, se diseñó una interfaz gráfica de usuario (GUI) para facilitar la interacción y la educación del usuario. Esta interfaz proporciona información en tiempo real sobre el tipo de residuo detectado y clasificado, mostrando estadísticas sobre la cantidad de materiales reciclados, información de impacto ambiental y sugerencias para mejorar los hábitos de reciclaje.

## Marco Teórico

### Redes neuronales convolucionales (CNN)

Las redes neuronales tradicionales son redes completamente conectadas (fully connected), esto quiere decir que todas las neuronas de una capa oculta están conectadas con todas las neuronas de la capa siguiente y de la capa anterior. En el caso de trabajar con imágenes como datos de entrada, trabajar con este tipo de redes puede ser un problema. Dado que, para una computadora, una imagen es representada como una matriz de píxeles, cada píxel de la imagen de entrada estaría conectado a cada neurona de la primera capa oculta de la red. Por lo tanto, la cantidad de conexiones necesarias es demasiado grande, lo que hace que el uso de redes “fully connected” sea prácticamente inviable (incluso para imágenes de tamaño relativamente pequeño en redes muy

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



profundas). Para mitigar este problema se presentan las redes neuronales convolucionales (CNN).

Las CNN son un tipo de redes neuronales artificiales que procesan capas imitando al córtex visual del cerebro humano para identificar distintas características en las entradas, que en definitiva hacen que puedan identificar objetos y "ver".

Su principal ventaja es que cada parte de la red es entrenada para realizar una tarea específica, aprendiendo diferentes niveles de abstracción, por lo que se reduce significativamente el número de conexiones en las capas ocultas y el entrenamiento es más rápido. Las CNNs son muy potentes para todo lo que tiene que ver con el análisis de imágenes, debido a que la CNN contiene varias capas ocultas especializadas y con una jerarquía, esto significa que las primeras capas puedes detectar características básicas como líneas, curvas o bordes y se van especializando hasta llegar a capas más profundas capaces de reconocer formas complejas como un rostro, una silueta o un objeto.

**Arquitectura**

La arquitectura de una red neuronal convolucional se puede separar en dos grandes etapas. Por un lado, la etapa de extracción de características, que a su vez está compuesta por una o más capas convolucionales, en donde se realizan pasos fundamentales: convolución, activación y pooling. Y, por otro lado, la etapa de clasificación, también llamada capa completamente conectada (fully connected layer), que comienza con un aplanamiento y continua con una red neuronal tradicional fully connected en donde se realizará la clasificación final.

## Implementación del prototipo de separación de residuos

El prototipo de contenedor inteligente para la separación de residuos [24], se centra en la integración de la ESP32-CAM con el servomotor y la aplicación de software para controlar la clasificación de residuos y la selección del cesto correspondiente. El objetivo es realizar una clasificación automática del material reciclable capturado por la cámara y dirigirlo al contenedor correcto mediante un sistema de control con un motor.

Hardware utilizado

- ESP32-CAM integra el ESP32 y la cámara OV2640: Microcontrolador con cámara integrada, encargado de capturar imágenes de los residuos.
- Servomotor Futaba S3004: Dispositivo electromecánico que consta de un motor, un circuito de control y un sistema de retroalimentación. Mueve el sistema de cestos para que el residuo sea depositado en el cesto correcto según el material detectado.
- LEDs 1,5 volts: Indicadores visuales que se encienden dependiendo del tipo de residuo detectado.
- Conexión Wi-Fi: Utilizada para comunicar la ESP32-CAM con el servidor que ejecuta la lógica de clasificación.
- Fuente de alimentación: La ESP32-CAM y el servomotor funcionan con una fuente de 5V.

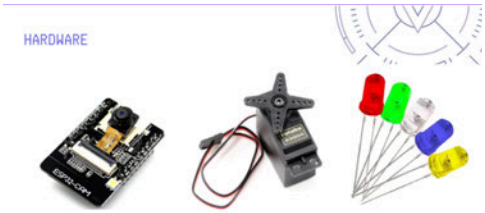



**Figura. 1. Herramientas de Hardware.**

*Flujo de trabajo del sistema*

1. Captura de la imagen: La ESP32-CAM se encargará de capturar la imagen del residuo y la enviará al programa de Python para su procesamiento.
2. Clasificación de residuos: El programa Python, utilizando el modelo deep learning clasifica el residuo como plástico, papel y cartón, vidrio, metal, orgánico y no reciclable. Esta predicción se hace en base a una imagen capturada previamente.
3. Envío de la predicción a la ESP32: Utilizando Websockets, el programa Python envía un número a la ESP32-CAM que representa el tipo de residuo, en nuestro prototipo se definió 0 = plástico, 1 = papel, 2 = vidrio, 3 = metal).
4. Movimiento del servomotor: Cuando la ESP32-CAM recibe este número, mueve el servomotor a la posición correspondiente para que el residuo caiga en el cesto correcto. El Movimiento del sistema de cestos se basa en el ángulo de rotación de 180 grados es adecuado para mover un sistema de cestos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



entre diferentes posiciones. En nuestro modelo 4 cestos para diferentes tipos de residuos (plástico, papel, vidrio, metal), el servo Futaba S3004 puede posicionar cada cesto con una división equitativa de su rango de movimiento (aproximadamente 45 grados por cada cesto). Dependiendo de la predicción del tipo de residuo. Por ejemplo:

- 0 grados para papel y cartón
- 60 grados para vidrio
- 120 grados para plástico
- 180 grados para metal

5. Indicación visual: Indicación visual: Cuando se clasifica un residuo, la ESP32-CAM enciende un LED del color correspondiente al tipo de material, para que los usuarios puedan saber qué residuo ha sido identificado.

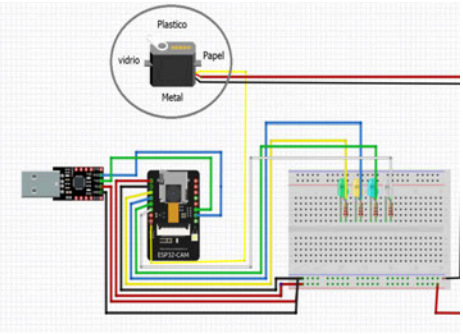



**Figura. 2. Diseño del Sistema-Separación De Residuos.**

## Implementación y resultados del modelo de detección de objetos

En el marco de este estudio, se llevaron a cabo entrenamientos de diversos modelos de redes neuronales convolucionales. Estos modelos se sometieron a diferentes enfoques de entrenamiento, algunos de ellos utilizando únicamente datos correspondientes a objetos reciclables, mientras que otros se entrenaron con un conjunto de datos que incluía todas las categorías, abarcando tanto materiales orgánicos como no reciclables.

En la Figura 3 se presenta una comparación entre la cantidad de etiquetas utilizadas en los dos enfoques mencionados. Esto permite visualizar la diferencia en la cantidad de categorías consideradas en el entrenamiento de los modelos.

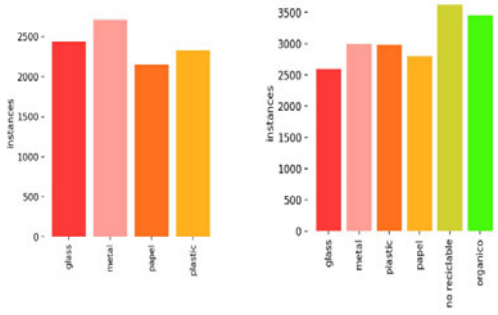



**Figura. 3. Comparación de los dos enfoques utilizados en este trabajo.**

A continuación, se muestran los resultados aproximados de dos de los mejores modelos obtenidos:

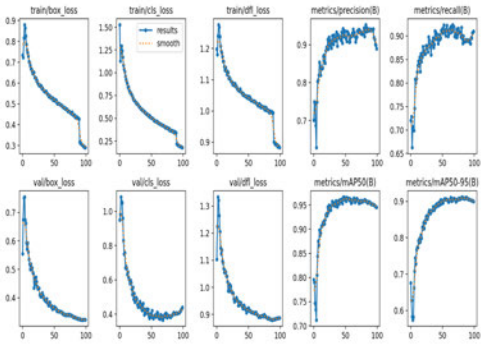



**Figura 4. Métricas de entrenamiento durante 100 épocas.**

**Tabla 1. Comparación de resultados**

| Métrica | Modelo 1 | Modelo 2 |
|---|---|---|
| Precisión | 0.914 | 0.889 |
| Recall | 0.879 | 0.909 |
| F1 | 0.91 | 0.92 |
| mAP50 | 0.939 | 0.945 |

Si bien reconocemos que la validación cruzada es una técnica ampliamente utilizada para mitigar el riesgo de sobreajuste, en el presente estudio su implementación completa no fue viable debido a las restricciones computacionales asociadas al entrenamiento de redes neuronales convolucionales (CNN), cuyo proceso demandó varios días por iteración. En contextos donde el costo computacional es elevado como en este caso es necesario realizar un balance entre la rigurosidad metodológica y la factibilidad operativa. Dado que el objetivo del sistema es la detección de objetos reciclables en tiempo real, se priorizó una arquitectura eficiente y una estrategia de evaluación que permitiera validar la capacidad de generalización sin comprometer la viabilidad operativa. Además, es

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



importante destacar que la validación cruzada no garantiza la ausencia de sobreajuste, sino que actúa como un mecanismo de detección y prevención parcial. Por ello, se optó por una partición estratificada con conjunto de prueba independiente, complementada con métricas de generalización y análisis de errores, como estrategia robusta y replicable dentro de los límites técnicos del estudio.

En la Figura 5 se muestra el proceso de etiquetado de las imágenes utilizadas para armar el dataset con el que se implementaron los modelos de redes neuronales convolucionales.

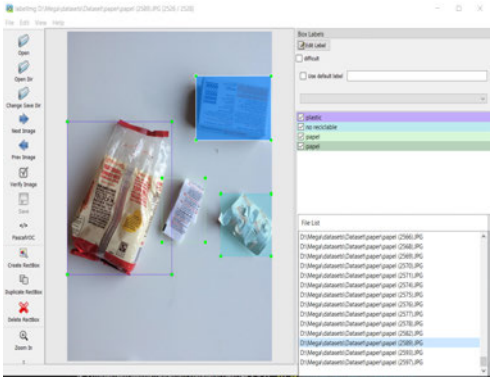


**Figura 5. Etiquetado de imagen que contiene múltiples clases.**

La Figura 6 muestra el funcionamiento del modelo en tiempo real con OpenCV.

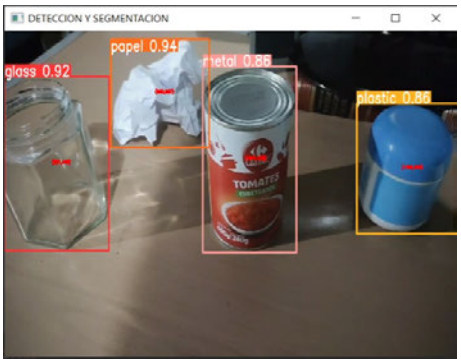



**Figura 6. Captura ejemplo de clasificación 1.**

En la matriz de confusión de la Figura 7 se observa la predicción de probabilidad de acierto entre las clases. El objetivo es que la matriz sea lo más diagonal posible indicando que el modelo apenas se ha confundido en las distintas categorías de imágenes que conforman el dataset.

En un color celeste claro Figura 7 podemos observar que el modelo ha hecho alguna predicción errónea, detectando como residuos algo que en realidad era fondo. Estos valores no son significativos teniendo en cuenta que en la medida promedio Figura 9 los valores correctos son superiores a 0.85, es decir una probabilidad alta cercana a 1.

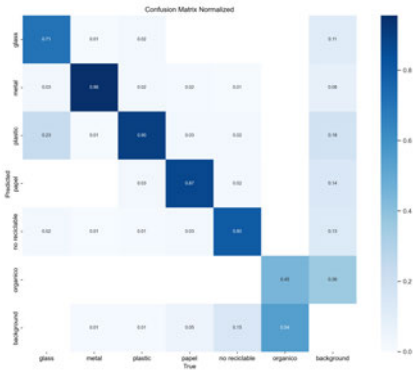



**Figura 7. Matriz de confusión normalizada.**

La Figura 8 muestra la gráfica Precisión-Recall (P-R), la cual evalúa la precisión y la proporción de objetos detectados de forma correcta. Los valores obtenidos se acercan exitosamente al valor ideal 1.0, identificados con la línea azul, tanto en el eje de precisión como en el de recall. Cuanto mayor es el área bajo la curva mejor es la precisión de nuestro modelo.

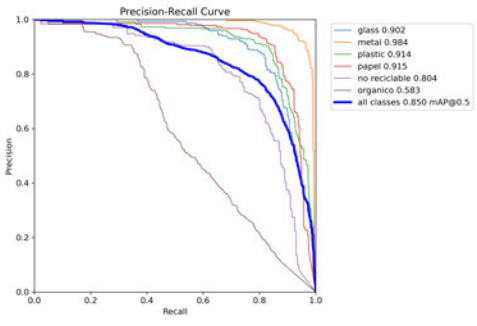



**Figura 8. Curva precisión - sensibilidad (P-R).**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La clase Orgánico está por debajo del rendimiento óptimo en comparación con las otras clases (Figura 8) con un 0.58 respecto al resto con un 0.98, como valor de precisión más alto obtenido, es 98, como valor de precisión más alto obtenido, es debido a su similitud con el fondo en algunas características.

La precisión se podría mejorar observando el dataset e identificando sí existen datos que pudieran estar causando el problema o incluso cambiar la configuración de los parámetros para el entrenamiento. Otra de las soluciones es realizar un aumento de las imágenes y etiquetas sobre la clase Orgánico. Aun así, destacamos que los resultados obtenidos son muy buenos y que en pruebas realizadas en tiempo real en movimiento y fondo variable las predicciones fueron sumamente correctas.

## Diseño del prototipo y prueba de separación de residuos

El contenedor de residuos se basa en un diseño circular de un cesto dividido en varias secciones, cada una dedicada a un tipo específico de residuo (metales, plásticos, papel y cartón, vidrio, orgánicos y no reciclables). Para facilitar la identificación de cada tipo de desecho, se han implementado LEDs de diferentes colores en cada sección:

- Papel y Cartón: Luz LED amarilla, para periódicos, cajas de cartón y papeles reciclables
- Vidrio: Luz LED verde, para botellas, frascos y otros envases de vidrio.
- Plásticos: Luz LED azul, para botellas de plástico, bolsas, envoltorios, etc.
- Metales: Luz LED roja, para latas de aluminio y acero, envases de metal.
- Orgánicos: Luz LED marrón, para residuos biodegradables como restos de comida, plantas, y papel/cartones sucios.
- No Reciclable: Luz LED blanca, para residuos que no se incluyen en otras categorías, como pilas, colillas de cigarrillos, guantes de látex, etc.




**Figura 10. Prototipo del Modelo de dos secciones (orgánicas y no reciclable)**




**Figura 10. Prueba separación de residuos cuatro secciones.**




**Figura 11. Diseñó detección con la interfaz gráfica.**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



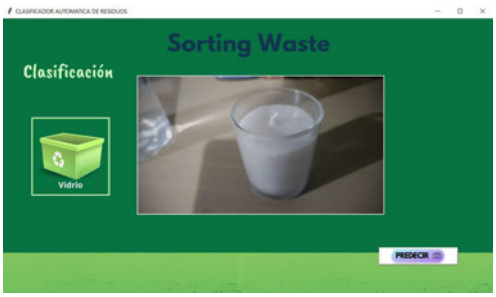



**Figura 12. Implementación de la clasificación con la interfaz gráfica.**

## Conclusiones

En conclusión, este estudio logró alcanzar con éxito los objetivos inicialmente propuestos. Nuestros modelos exhibieron métricas prometedoras, con tasas de precisión superiores al 90% en algunos casos. Atribuimos este logro al meticuloso esfuerzo invertido en la construcción de un dataset diverso, que abarcó una amplia variedad de entornos y que contó con una cantidad significativa de datos y fotografías cuidadosamente seleccionadas.

Se realizaron diversas pruebas, y se observó que hubo una cantidad muy reducida de resultados falsos positivos. Esto abre la puerta a futuras tareas que implicarían la expansión del conjunto de datos y la mejora continua del algoritmo durante el proceso de entrenamiento.

La implementación de la detección con un Esp32 cam conjuntamente con el control de un sistema giratorio de separación. Durante la fase de pruebas, el prototipo demostró ser efectivo en la separación automática de residuos. Al detectar cada tipo de desecho, el sistema identifica correctamente el tipo de material y enciende la luz LED, corresponde al color del contenedor, para guiar al usuario hacia el compartimiento adecuado. Se realizaron múltiples pruebas con materiales como plásticos, metales, vidrio y orgánicos, confirmando que el sistema puede manejar diferentes tipos de residuos sin problemas. La integración de la interfaz gráfica mejora significativamente la precisión y rapidez con la que los usuarios separan los residuos, promoviendo el reciclaje y la sostenibilidad.

## Referencias

[1] Maquituls España (2017), La importancia del reciclaje. Cuidemos el Medio Ambiente, https://www.maquituls.es/noticias/la-importancia-del-reciclaje-cuidemos-el-medio-ambiente/#:~:text=El%20reciclar%20o%20el%20reciclaje,de%20manera%20continua%20al%20planeta., recuperado 10 de mayo 2020.

[2] Diario El Cronista (2018), Producción de basura: cuál es la realidad en Argentina y que se podría hacer, https://www.cronista.com/responsabilidad/Produccion-de-basura-cual-es-la-realidad-en-Argentina-y-que-se-podria-hacer-20180302-0075.html, recuperado 10 de mayo 2020.

[3]https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/12_Spanish_Why_it_Matters.pdf

[4]https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_pais_baja.pdf

[5] Joshi, J., Reddy, J., Reddy, P., Agarwal, A., Agarwal, R., Bagga, A., Bhargava, A. (2016). Cloud computing based smart garbage monitoring system. In: Electronic Design (ICED), 3rd International Conference on, 6 p. doi: 10.1109/ICED.2016.7804609

[6] Kumar, N. S., Vuayalakshmi, B., Prarthana, R. J., Shankar, A. (2016). IOT based smart garbage alert system using Arduino UNO. In: Region 10 Conference (TENCON), 2016 IEEE, pp. 1028-1034. doi: 10.1109/TENCON.2016.7848162

[7] Wolfgang Ertel, Introduction to Artificial Intelligence, second edition, Springer International Publishing AG 2017.

[8]Kevin Murphy, Machine Learning - A probabilistic perspective, University of Cambridge, 2012

[9]Zoubin Gharamani, Automatic Machine Learning, University of Cambridge, 2018

[10]Miroslav Kubat, An Introduction to Machine Learning, second edition, Springer International Publishing AG 2017.

[11]Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville, Deep Learning, MIT 2017.

[12] Nikhil Buduma, Fundamentals of Deep Learning, Editorial O'reilly. 2017

[13] Sandro Skansi, Introduction to Deep Learning – From Logical Calculus to Artificial

[14] Andreas Muller, Sarah Guido, Introduction to Machine Learning with Python, Editorial O'reilly, 2016.

[15] Francois Chollet, Deep Learning with Python, MEAP edition, Manning Publications 2017.

[16] Aurelien Gerón, Hands-On Machine Learning withs cikitLearn & TensorFlow, Editorial O'reilly, 2017

[17] Tom Hope, Yehezkel Resheff, Itay Lieder, Learning TensorFlow, Editorial O'reilly. 2017

[20] Aprende Machine Learning (2020), https://www.aprendemachinelearning.com/, recuperado 25 de abril 2020.

[21] Bismart, 2022, "¿Cuál es la diferencia entre el machine learning y el deep learning?", https://blog.bismart.com/diferencia-machine-learning-deep-learning, España.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[22] Bootcamp AI, 2019, "Intro a las redes neuronales convolucionales", https://bootcampai.medium.com/redes-neuronales-convolucionales-5e0ce960caf8#:~:text=Las%20redes%20neuronales%20convolucionales%20es,poder%20diferenciar%20unos%20de%20otros.

[23] Calvo, Diego, 2017, "Red Neuronal Convolucional CNN", https://www.diegocalvo.es/red-neuronal-convolucional/.

[24] ing. kleber germiniano marcillo parrales,2023 "prototipo de un contenedor inteligente de basura para el manejo de desechos tecnológicos en la carrera tecnologías de la información "

https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5920/1/BORBOR%20JAMA%20CARLOS%20OMAR.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Gemelos Digitales en la Educación en Robótica: Un Mapeo Sistemático de la Literatura

Néstor Adrián Balich[1], Cesar Augusto Guanipa Márquez[1], Berenice Lourdes Balich[1], Gustavo Rossi[1,2]
[1] Universidad Abierta Interamericana. Facultad de Tecnología Informática. Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática. Laboratorio de Robótica e Inteligencia Artificial. Montes de Oca 745,Buenos Aires, Argentina
[2] Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Laboratorio de Investigación y Formación en Informática Avanzada. Calle 50 y 120, La Plata (1900), Buenos Aires, Argentina.
{nestor.balich, berenicelourdes.balich} @uai.edu.ar, cesaraugusto.guanipamarquez@alumnos.uai.edu.ar
gustavo@lifia.info.unlp.edu.ar

## Resumen

*El concepto de gemelos digitales (Digital Twins, DT) tiene sus orígenes en los experimentos de la NASA durante la década de 1960, cuando se utilizaron réplicas físicas para simular el comportamiento de las naves espaciales. Su formalización conceptual se produjo en 1991 con Mirror Worlds de Gelernter, y adquirió relevancia en 2002 con las aplicaciones de Grieves en la industria manufacturera. En la actualidad, los DT se han expandido a nuevos campos, incluyendo la educación, particularmente en la enseñanza de la robótica, al articular en tiempo real entornos físicos y simulados.*

*Este artículo presenta un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL) sobre el uso de DT en educación en robótica en el período 2018–2025. Se analizan la evolución de la producción científica, los contextos educativos de aplicación, los enfoques pedagógicos predominantes, las plataformas tecnológicas utilizadas y las brechas detectadas.*

*Los resultados evidencian un crecimiento sostenido de la investigación, con predominio en el ámbito universitario y un fuerte apoyo en metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos. Asimismo, se identifican desafíos relacionados con la accesibilidad, la integración curricular y la necesidad de modelos híbridos de bajo costo. Este trabajo ofrece una visión estructurada del estado del arte y propone orientaciones para futuras investigaciones en educación STEM.*

**Palabras claves:** Digital Twin, Robótica Educativa, STEM, Modelos Híbridos, Mapeo Sistemático de la Literatura, Simuladores 3D

## 1. Introducción

La educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) enfrenta transformaciones profundas impulsadas por el avance tecnológico y la necesidad de nuevas competencias digitales en los estudiantes [1-3]. En este contexto, los gemelos digitales (Digital Twins, DT) han emergido como una herramienta disruptiva capaz de integrar el mundo físico y virtual en entornos de enseñanza-aprendizaje [4,5].

El paradigma de los DT, inicialmente aplicado en la industria manufacturera, permite crear representaciones virtuales que reflejan el comportamiento de sistemas físicos en tiempo real [4,5]. En el ámbito educativo, y especialmente en la robótica, esta capacidad se traduce en experiencias que combinan simuladores y robots físicos, fortaleciendo la motivación estudiantil, el desarrollo del pensamiento computacional y la adquisición de competencias STEM [1-3].

Recientemente, los modelos híbridos de DT han cobrado relevancia al articular simultáneamente simulación y control de dispositivos reales, superando limitaciones tradicionales de accesibilidad, costo y escalabilidad [6,7]. Este escenario abre nuevas oportunidades para democratizar la enseñanza de la robótica y evaluar su impacto pedagógico desde enfoques innovadores.

El presente trabajo propone un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL) orientado a caracterizar el estado actual de la investigación sobre DT en educación robótica. A partir de un análisis estructurado de artículos seleccionados, se busca identificar tendencias, aplicaciones, plataformas tecnológicas y enfoques pedagógicos predominantes, así como señalar vacíos de investigación y líneas de desarrollo futuras. Ecuadrándose este proyecto en la tesis del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



doctorado en informática de la universidad abierta interamericana (UAI).

## 2. Contexto

El paradigma de los gemelos digitales surgió en la industria manufacturera como un recurso estratégico para la simulación y el control de procesos [4,5]. Con el tiempo, su aplicación se expandió hacia otros campos, incluida la educación, donde los DT ofrecen nuevas oportunidades para vincular el mundo físico con el digital en entornos de aprendizaje.

En la robótica educativa, los DT permiten la integración de robots físicos con simuladores en tiempo real, potenciando la motivación estudiantil, el desarrollo del pensamiento computacional y las competencias STEM [1-3]. Sin embargo, persiste una brecha entre propuestas basadas únicamente en robots físicos y aquellas que se centran en experiencias de simulación.

Frente a ello, la literatura reciente comienza a explorar modelos híbridos que combinan ambas dimensiones, buscando superar limitaciones de accesibilidad, costo y escalabilidad [6,7]. Este trabajo se enmarca en esa tendencia y propone un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL) para caracterizar las aportaciones existentes, identificar vacíos de investigación y fundamentar nuevas líneas de desarrollo para los MSL [8] .

## 3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es realizar un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL) para analizar el estado actual de las investigaciones sobre la aplicación de gemelos digitales (Digital Twins, DT) en el ámbito de la educación en robótica.

De este propósito general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

**O1.** Identificar la evolución temporal de la producción científica sobre DT aplicados a educación y robótica en el período 1 de enero de 2018 al 31 de enero de 2025.

**O2.** Clasificar las aplicaciones educativas de los DT en el área de la robótica, destacando los contextos en que se implementan (primaria, secundaria, universitaria y formación docente).

**O3.** Analizar los enfoques pedagógicos predominantes asociados al uso de DT (aprendizaje basado en proyectos, colaborativo, gamificación, pensamiento computacional).

**O4.** Examinar las tecnologías, plataformas y simuladores más utilizados en las implementaciones (Unity, Gazebo, Unreal, Godot, ROS, VR/AR/MR, entornos híbridos cloud+IoT).

**O5.** Detectar vacíos de investigación y desafíos pendientes relacionados con accesibilidad, costos, integración curricular y escalabilidad.

De esta forma, el trabajo busca ofrecer una visión integral del estado de la literatura y proponer líneas futuras de investigación que contribuyan a democratizar el acceso a los gemelos digitales en la enseñanza de la robótica.

El primer paso para este objetivo es definir las preguntas rectoras (RQ) (ver Tabla 1) y las preguntas exploratorias (EQ) de segundo orden.

Tabla 1: Preguntas rectoras (RQ)

| Pregunta rectora (RQ) | Motivación |
|---|---|
| RQ1 ¿Cómo ha evolucionado la producción científica sobre DT en educación y robótica en los últimos 10 años? | Permite identificar tendencias, crecimiento del interés académico y áreas emergentes en el estudio de los Digital Twins (DT) aplicados a la educación y la robótica. Facilita situar la investigación en un contexto temporal y cuantitativo. |
| RQ2 ¿Qué aplicaciones educativas se reportan con DT en robótica? | Busca evidenciar cómo se están usando los DT en entornos educativos, qué tipos de actividades o simulaciones se implementan, y cómo impactan en la enseñanza-aprendizaje de la robótica. |
| RQ3 ¿Qué enfoques pedagógicos predominan en el uso de DT en educación? | Permite comprender las estrategias educativas y metodologías más utilizadas con DT, evaluando si se alinean con teorías de aprendizaje constructivistas, colaborativas o basadas en la simulación. |
| RQ4 ¿Qué tecnologías y plataformas se emplean en la implementación de DT? | Ayuda a identificar el soporte tecnológico necesario, incluyendo software, hardware y plataformas de simulación, para guiar futuras implementaciones y replicabilidad de experiencias educativas. |
| RQ5 ¿Cuáles son las principales brechas y desafíos identificados en la literatura? | Permite reconocer limitaciones, problemas no resueltos y áreas de oportunidad en la investigación sobre DT en educación y robótica, orientando futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos. |

Tabla 2: Preguntas exploratorias (EQ)

| Pregunta exploratoria (EQ) | Motivación | Pregunta rectora (RQ) |
|---|---|---|
| EQ1 ¿Qué vacíos de investigación se repiten en | Permite identificar áreas | RQ5 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | |
|---|---|---|
| los distintos artículos analizados sobre gemelos digitales en educación y robótica? | poco exploradas y orientar futuras investigaciones. | |
| EQ**2** ¿Qué criterios de inclusión y exclusión mencionan los artículos más citados en revisiones previas? | Ayuda a establecer estándares metodológicos y consistencia en el análisis bibliográfico. | RQ5 |
| EQ3 ¿Qué métodos de validación (casos de estudio, prototipos, experimentos en aula) son los más frecuentes? | Permite evaluar la robustez y aplicabilidad de los estudios existentes. | RQ5 |
| EQ4 ¿Cómo evolucionó la producción académica sobre gemelos digitales aplicados a robótica educativa entre 01/01/2018 y 31/01/2025? | Identifica tendencias temporales en la investigación, mostrando crecimiento y foco de interés. | RQ1 |
| EQ5 ¿Qué plataformas o simuladores aparecen con mayor frecuencia (Unity, Gazebo, Unreal, Godot, ROS, VR/AR, etc.)? | Facilita entender qué herramientas tecnológicas sustentan la implementación de DT. | RQ4 |
| EQ6 ¿Qué porcentaje aproximado de estudios se relacionan con la en educación primaria, secundaria o universitaria? | Permite dimensionar el nivel educativo donde se concentra la investigación. | RQ2 |
| EQ7 ¿Qué tan frecuente es el enfoque low-cost y qué autores lo trabajan más? | Evalúa la accesibilidad de las soluciones propuestas y su distribución geográfica | RQ2 / RQ5 |
| EQ8 ¿Qué proporción de artículos proponen modelos híbridos (físico + digital) frente a sólo simulación? | Permite identificar la adopción de modelos híbridos frente a simulación pura, y su impacto pedagógico. | RQ4 / RQ2 |
| EQ9 ¿Qué enfoques pedagógicos predominan en la aplicación de DT en educación (PBL, aprendizaje colaborativo, gamificación)? | Permite analizar la alineación de DT con teorías y métodos educativos efectivos. | RQ3 |
| EQ10 ¿Qué estudios comparan explícitamente el impacto del robot físico versus el simulador en el aprendizaje? | Evalúa evidencia de efectividad del DT físico versus virtual en la educación. | RQ3 |
| EQ11 ¿Cómo se evalúa la motivación y el pensamiento computacional en los trabajos revisados? | Permite identificar indicadores de aprendizaje y medir el impacto educativo de los DT. | RQ3 |
| EQ12 ¿Qué experiencias documentan mejoras en creatividad y actitudes hacia STEM? | Permite evidenciar el efecto de los DT en competencias transversales y actitudes hacia STEM. | RQ3 |
| EQ13 ¿Cuáles son las tecnologías emergentes más citadas como futuras (XR, analítica de aprendizaje, IA generativa)? | Identifica tendencias tecnológicas que pueden transformar la educación con DT. | RQ4 / RQ5 |
| EQ14 ¿Qué recomendaciones plantean los artículos para democratizar el acceso a gemelos digitales educativos en contextos vulnerables? | Orienta sobre estrategias para aumentar la equidad y accesibilidad en la educación con DT. | RQ5 |
| EQ15 ¿Qué brechas futuras quedan por cubrir: accesibilidad, costo, integración curricular y escalabilidad? | Permite focalizar futuras investigaciones y desarrollos para cerrar brechas existentes. | RQ5 |

## 4. Metodología

Este trabajo se desarrolló siguiendo las directrices de Kitchenham [8] para revisiones sistemáticas y la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para la organización y transparencia del proceso de selección.

### 4.1. Fuentes de información

La búsqueda de literatura se realizó en las siguientes bases de datos y repositorios:

- IEEE Xplore
- Scopus
- SpringerLink
- ACM Digital Library
- Google Scholar
- Repositorios institucionales: Universidad Abierta Interamericana (UAI) y Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 4.2. Periodo de análisis

El rango temporal considerado abarca los años 01/01/2018 a 31/01/2025, en línea con el crecimiento reciente de publicaciones sobre gemelos digitales en educación y robótica.

### 4.3. Criterios de inclusión

Se seleccionaron artículos que cumplieran al menos una de las siguientes condiciones:

- Propuestas con aplicación de gemelos digitales en educación.
- Experiencias de gemelos digitales aplicados a robótica.
- Trabajos sobre simuladores educativos y plataformas híbridas con robots físicos.
- Revisiones sistemáticas o mapeos previos sobre DT en entornos de enseñanza-aprendizaje.
- Artículos en revistas y conferencias indexadas revisados por pares.

### 4.4. Criterios de exclusión

Se descartaron aquellos estudios que:

- Se centrarán exclusivamente en aplicaciones industriales de DT sin relación educativa.
- No presentaran validación empírica, prototipos o experiencias educativas.
- Se tratará de informes técnicos, capítulos de libro no arbitrados o literatura gris.
- Duplicaran resultados ya contabilizados.

### 4.5. Proceso de selección

- Búsqueda inicial: 100 artículos identificados.
- Screening 1: selección o filtrado inicial y eliminación de duplicados: 48 artículos eliminados quedando 52 seleccionados.
- Screening 2: eliminación por análisis profundo 10 artículos de los 52 seleccionados.
- Selección final: 42 artículos relevantes, organizados según su aporte a las preguntas de investigación.

### 4.6. Procedimiento de análisis

Cada artículo fue analizado considerando:

- Metadatos (año, autores, base de publicación).
- Nivel educativo de aplicación.
- Tecnología/simulador empleado.
- Enfoque pedagógico predominante.
- Validación (caso de estudio, experimento en aula, prototipo).

### 4.7. Diagrama PRISMA

El proceso de selección se resume en la (ver Figura 1) mediante el diagrama de flujo PRISMA, que ilustra las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.

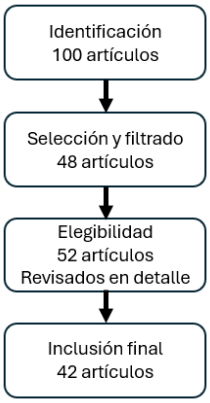



Figura 1: Diagrama PRISMA selección de artículos

## 5. Discusión

El mapeo sistemático confirma que la aplicación de gemelos digitales (DT) en educación robótica constituye un campo emergente y en rápida consolidación. La literatura muestra un crecimiento sostenido desde 2018, con especial concentración de publicaciones entre 2023 y 2025. Esta tendencia refleja tanto la maduración del concepto de DT en la industria como su adaptación progresiva a entornos educativos.

En términos pedagógicos, predominan enfoques de aprendizaje basado en proyectos (PBL), aprendizaje colaborativo y gamificación, que se apoyan en la motivación intrínseca del estudiante y en el desarrollo del pensamiento computacional. Sin embargo, las evidencias comparativas sobre el impacto diferencial entre robots físicos y simuladores son aún limitadas, lo cual representa un área crítica para investigaciones futuras.

El análisis evidencia también una marcada concentración en educación superior (70% de los casos), lo que deja un vacío importante en niveles primarios y secundarios, donde los DT podrían favorecer procesos de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



iniciación temprana en STEM. Este sesgo plantea la necesidad de estrategias de democratización que contemplen soluciones low-cost y plataformas abiertas que permitan extender el acceso a contextos educativos con menos recursos.

Desde la perspectiva tecnológica, el uso de Unity, Gazebo y ROS sigue siendo dominante, aunque se observa un avance hacia soluciones de realidad extendida (VR/AR/MR), así como hacia la integración de IoT y entornos cloud. A pesar de estos progresos, persisten desafíos relacionados con la escalabilidad, la accesibilidad y la integración curricular de los modelos híbridos.

En síntesis, los hallazgos posicionan a los DT como una herramienta clave en la construcción de entornos híbridos distribuidos en tiempo real, pero también exponen la necesidad de profundizar en su impacto educativo real, más allá de la validación técnica.

### 5.1. Agrupamiento de artículos analizados

La selección de artículos en dos pasos por preguntas EQ y RQ, arrojo el siguiente resultado Tabla 3 para EQ y Tabla 4 para RQ.

Tabla 3: Agrupamiento preguntas exploratoria EQ

| EQ | Artículos seleccionados |
|---|---|
| EQ1. Vacíos de investigación en DT educativos/robóticos | [1,9,5,2] |
| EQ2.Criterios de inclusión / exclusión en revisiones previas | [5,9,23,42] |
| EQ3. Métodos de validación más frecuentes | [17,39,26,25,30] |
| EQ4. Evolución de la producción académica (2018–2025) | [5,1,9,10,11] |
| EQ5. Plataformas o simuladores más frecuentes | [12,6,13,14,15] |
| EQ6. Distribución por niveles educativos | [3,25,26,27] |
| EQ7. Enfoque low-cost y sus autores | [14,29,30,25] |
| EQ8. Proporción de modelos híbridos (físico + digital) | [31,6,16,32,13] |
| EQ9. Enfoques pedagógicos predominantes | [33,20,24,38,34,25] |
| EQ10. Comparación robot físico vs. simulador | [35,31,16] |
| EQ11. Evaluación de motivación y pensamiento computacional | [24,21,3,38] |
| EQ13. Tecnologías emergentes más citadas | [37,15,14,38,42,43] |
| EQ14. Recomendaciones para democratizar el acceso en contextos vulnerables | [7,30,29,25] |
| EQ15. Brechas futuras por cubrir | [1,9,39,28,27] |

Tabla 4: Agrupamiento preguntas rectora RQ

| RQ | Artículos con foco pedagógico/educativo | Artículos con foco tecnológico/teórico |
|---|---|---|
| RQ1: Evolución de la producción científica (2018–2025) | [1,9,17]. | [5,6,11] |
| RQ2: Aplicaciones educativas de DT en robótica | [5,39,28,40,41] [25,13,2,9] | [16,18,33,4] |
| RQ3: Enfoques pedagógicos predominantes | [31,40] | [31,40] |
| RQ4: Tecnologías y plataformas usadas en DT | [13,25] | [12,6,14,15] [32,15,15,42,43] |
| RQ5: Brechas y desafíos | [1,9,25] [41,7,27,17] | [5,37,23] [4,43] |

El análisis permitió identificar tendencias en la literatura sobre DT en educación y robótica y descartar los artículos [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53] representando un total de 9 artículos sobre la temática de estudio. Tampoco contabilizamos el articulo [1] pues es referenciado como guía para la metodología MSL.

## 6. Resultados

Se presentan los hallazgos del mapeo sistemático, organizados de acuerdo con las preguntas rectoras (RQ) planteadas.

### 6.1. RQ1: Evolución de la producción científica (2018–2025)

El análisis del corpus evidencia un crecimiento sostenido de la producción científica sobre gemelos digitales aplicados a la educación en robótica desde 2018. El año 2023 concentró el mayor número de contribuciones detectadas (aproximadamente 11 artículos), seguido por 2024, que registró un número similar de publicaciones (11–12 artículos) y en 2025 solo uno sobre simulación y educación no especifico de DT. Este incremento coincide con la consolidación de iniciativas relacionadas con Industria 4.0 / Educación 4.0 y con la mayor disponibilidad de herramientas de simulación y entornos XR. Los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



resultados confirman la tendencia de maduración del tema observada en revisiones previas y reflejan un interés creciente por integrar gemelos digitales en procesos educativos de robótica y STEM Tabla 5.

Tabla 5: Artículos referentes a educación y DT.

| Año | Nro. | Artículos | Observaciones |
|---|---|---|---|
| 2018 | 1 | [17] | Primeras experiencias de aprendizaje con gemelos digitales en educación. |
| 2020 | 4 | [2,20,39,37] | Inicio de interés por el concepto de gemelos digitales en educación y simulación. |
| 2021 | 6–7 | [5,10,12,38, 26,34] | Consolidación de revisiones sistemáticas y aplicaciones educativas en robótica. |
| 2022 | 10 | [11,23,29,3 6,33,42,43, 47,48,45] | Crecimiento significativo, con mayor interés en Industria 4.0 / Educación 4.0 y entornos de simulación. |
| 2023 | 11 | [9,15,19,27, 21,31,32,49 ] | Máximo número de publicaciones detectadas; consolidación de estudios aplicados y revisiones. |
| 2024 | 11–12 | [1,3,4,14,22 ,28,16,50,4 0,41,25,30] | Continuación del crecimiento; disponibilidad creciente de herramientas XR y plataformas de simulación. |
| 2025 | 1 | [13] | Simulación sin gemelo digital |

### 6.2. RQ2: Aplicaciones educativas de DT en robótica

Las aplicaciones identificadas se agrupan en las siguientes categorías:

Laboratorios remotos y entornos de práctica: acceso a hardware real a distancia mediante réplicas virtuales y control remoto. [16].

Entrenamiento y validación de algoritmos: uso de DT para probar controladores y estrategias de navegación antes de su despliegue físico. [51, 12].

Actividades de enseñanza y aprendizaje (PBL, ABP): proyectos integrados que combinan diseño, programación y validación en plataformas híbridas. [33, 38].

Experiencias inmersivas (XR): DT integrados con VR/AR para visualización y manipulación de robots en entornos más ricos. [14, 15].

Propuestas low-cost y escalables: modelos que priorizan componentes accesibles (Arduino, kits impresos en 3D) para contextos con recursos limitados. [7,30].

Distribución por nivel educativo: la mayoría de los estudios (≈70%) se focaliza en educación superior; el 20% en secundaria; y el 10% en primaria. La concentración universitaria muestra que la adopción inicial se produce en contextos con mayor capacidad técnica y recursos [39].

### 6.3. RQ3: Enfoques pedagógicos predominantes

Los trabajos revisados muestran coherencia en los marcos pedagógicos empleados:

- **Aprendizaje Basado en Proyectos (PBL):** predominante, favorece la resolución de problemas reales combinando simulación y prototipado. [33].
- Aprendizaje colaborativo y distribuido: frecuente en sistemas multiusuario y plataformas en red que permiten trabajo conjunto sobre un mismo DT. [34, 13].
- **Gamificación:** aplicada como estrategia motivacional para aumentar el compromiso y la creatividad. [38, 37].
- **Evaluación del aprendizaje:** la mayoría de estudios utiliza medidas de actitud, encuestas de satisfacción, y pruebas pre/post; estudios con diseños experimentales controlados son menos frecuentes. Comparaciones directas robot físico vs. simulador se encuentran, pero son relativamente escasas y con resultados heterogéneos.

### 6.4. RQ4: Tecnologías y plataformas usadas en DT

Se identificaron tres grandes familias tecnológicas:

1. **Simuladores de física y entornos gráficos:** Unity y Gazebo se destacan por su uso recurrente; la integración con ROS es común en implementaciones académicas. [12,6].
2. **Hardware educativo y low-cost:** Arduino, kits impresos en 3D y plataformas tipo LEGO/Mindstorms aparecen como elementos de conexión entre la réplica virtual y el objeto físico. [29,30].
3. **Infraestructura distribuida y XR:** arquitecturas cloud+IoT para monitorización remota, y uso de VR/AR/MR para mejorar la percepción espacial y la interacción. [16,14,15].

**Observaciones técnicas:** varios trabajos enfatizan la importancia de la latencia, la fidelidad del modelo físico y la validación experimental para reducir la brecha sim-to-real; estudios de validación de simuladores muestran

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



limitaciones en modelado de contactos y elasticidades que afectan la transferencia. [12,32].

### 6.5. RQ5: Brechas y desafíos

Las limitaciones recurrentes detectadas en la literatura son:

- **Poca cantidad de estudios en niveles iniciales y secundarios,** lo que limita conclusiones sobre el impacto temprano en el desarrollo de competencias STEM. [39].
- **Falta de integración curricular:** muchos proyectos operan como experiencias aisladas, sin articulación longitudinal con planes de estudio. [18].
- **Escasa incorporación de Learning Analytics:** pocas investigaciones explotan datos de interacción para personalizar el aprendizaje. [21, 32].
- **Necesidad de soluciones low-cost y replicables** para garantizar acceso equitativo en contextos vulnerables. [7, 29, 30].
- **Deficiencias metodológicas:** carencia de estudios longitudinales y comparativos robustos que permitan medir efectos sostenidos sobre aprendizaje y competencias. [5].

**Síntesis cuantitativa:** aproximadamente un 40% de los trabajos analizados proponen o implementan modelos híbridos (físico + digital), mientras que la mayoría restante se centra en simulación pura o en aplicaciones experimentales sin componente sincronizado en tiempo real. [32, 6].

## 7. Conclusiones

Este mapeo sistemático ofrece una panorámica del estado del arte sobre la aplicación de gemelos digitales en la educación en robótica (2018–2025). Las principales conclusiones son:

**Campo en expansión y consolidación académica.** La producción científica ha crecido de manera sostenida, con mayor impulso en 2023–2024, evidenciando interés tanto desde la perspectiva pedagógica como tecnológica. [5, 19].

**Predominio de experiencias universitarias.** El uso de DT en contextos educativos se concentra mayoritariamente en la educación superior, lo que indica la necesidad de ampliar investigación y diseño de soluciones adaptadas a secundaria y primaria. [39, 49].

**Predilección por enfoques activos.** El aprendizaje basado en proyectos y el trabajo colaborativo emergen como marcos pedagógicos idóneos para integrar DT, por su capacidad para articular diseño, programación y validación experimental. [33, 38].

**Tecnologías dominantes y emergentes.** Unity, Gazebo y ROS son las plataformas más utilizadas; sin embargo, la convergencia con VR/AR, arquitecturas cloud-IoT y diseños low-cost abre nuevas posibilidades para ampliar el acceso y la calidad de las experiencias educativas. [12, 16, 7].

**Brechas metodológicas y de acceso.** La falta de estudios longitudinales, la limitada adopción de learning analytics, y la escasa presencia en niveles educativos tempranos constituyen las principales barreras para evaluar exhaustivamente el impacto educativo de los DT y su escalabilidad. [21,5,32].

## 8. Recomendaciones para investigaciones futuras

A partir de los hallazgos se proponen las siguientes líneas prioritarias:

**Diseñar y evaluar estudios longitudinales y ensayos controlados** que comparen modelos híbridos vs. simulación pura, midiendo tanto resultados de aprendizaje como actitudes y competencias.

**Desarrollar ecosistemas low-cost y replicables** (hardware imprimible, software abierto, bibliotecas de escenarios) para facilitar la adopción en contextos con recursos limitados. [7,29,30].

**Integrar Learning Analytics y métricas** de interacción para personalizar trayectorias formativas y generar evidencia sobre procesos de aprendizaje mediado por DT. [21,32].

**Fomentar la articulación curricular y la formación doc**ente para que las experiencias con DT no sean iniciativas aisladas, sino parte de trayectorias formativas coherentes. [18].

**Avanzar en estándares de modelado y validación** para mejorar la transferencia sim-to-real, reducir la brecha de fidelidad y documentar las limitaciones técnicas. 12].

## Referencias

[1] Bachmann, J. E. C., Silveira, I. F., & Martins, V. F. (2024). Digital Twins for Education: A Literature Review. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), 722–736.

[2] Kartashova, L. A., Gurzhii, A. M., Zaichuk, V. O., Sorochan, T. M., & Zhuravlev, F. M. (2020). Digital twin of an educational institution: An innovative concept of blended learning. In Symposium on Advances in Educational Technology. https://www.scitepress.org/Papers/2020/109311/109311.pdf

[3] Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. International Journal of STEM Education, 11(1), 7. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00469-4

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[4] Grieves, M. (2024). Digital twins and their role in reengineering engineering education. In Digital Twin (pp. 237–261). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67778-6_11

[5] Semeraro, C., Lezoche, M., Panetto, H., & Dassisti, M. (2021). Digital twin paradigm: A systematic literature review. Computers in Industry, 130, 103469. https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103469

[6] Singh, M., Kapukotuwa, J., Gouveia, E. L. S., Fuenmayor, E., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2025). Comparative study of digital twin developed in Unity and Gazebo. Electronics, 14(2), 276. https://doi.org/10.3390/electronics14020276

[7] Acker, J., Rogers, I., Guerra-Zubiaga, D., Tanveer, M. H., & Moghadam, A. A. A. (2023). Low-cost digital twin approach and tools to support industry and academia. Machines, 11(9), 860. https://doi.org/10.3390/machines11090860

[8] Brereton P., Kitchenham B., Budgen D., Turner M., Khalil M.: Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain, Journal of Systems and Software, 80:(4), pp. 571–583, (2007). https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S01641212 0600197X

[9] Mujallid, A. T. (2023). Digital Twin Between Reality and Future: A Systematic Review of Using Digital Twin and a Future Vision for Employing it in Teaching and Learning. Journal of Scientific Research in Education, 24(10), 204–225.

[10] Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: Origin to future. Applied System Innovation, 4(2), 36. https://doi.org/10.3390/asi4020036

[11] Zhou, J., Zhang, S., & Gu, M. (2022). Revisiting digital twins: Origins, fundamentals, and practices. Frontiers of Engineering Management, 9(4), 668–676. https://doi.org/10.1007/s42524-022-0216-2

[12] Collins, J., Chand, S., Vanderkop, A., & Howard, D. (2021). A review of physics simulators for robotic applications. IEEE Access, 9, 51416–51431. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3068769

[13] Stein, G., Jean, D., Kittani, S., Deweese, M., & Lédeczi, Á. (2025). A novice-friendly and accessible networked educational robotics simulation platform. Education Sciences, 15(2), 198. https://doi.org/10.3390/educsci15020198

[14] Tarng, W., Wu, Y. J., Ye, L. Y., Tang, C. W., Lu, Y. C., Wang, T. L., & Li, C. L. (2024). Application of virtual reality in developing the digital twin for an integrated robot learnin

[15] Szczurek, K. A., Prades, R. M., Matheson, E., Rodriguez-Nogueira, J., & Di Castro, M. (2023). Multimodal multi-user mixed reality human–robot interface for remote operations in hazardous environments. IEEE Access, 11, 17305–17333. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.10045681

[16] Filipescu, A., Simion, G., Ionescu, D., & Filipescu, A. (2024). IoT-Cloud, VPN, and Digital Twin-Based Remote Monitoring and Control of a Multifunctional Robotic Cell in the Context of AI, Industry, and Education 4.0 and 5.0. Sensors, 24(23), 7451. https://www.mdpi.com/1424-8220/24/23/7451

[17] David, J., Lobov, A., & Lanz, M. (2018). Learning experiences involving digital twins. In 2018 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON) (pp. 3681–3686). IEEE. https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591460

[18] Marah, H., & Challenger, M. (2024). Adaptive hybrid reasoning for agent-based digital twins of distributed multi-robot systems. Simulation, 100(9), 931–957.

[19] Mazumder, A., Sahed, M. F., Tasneem, Z., Das, P., Badal, F. R., Ali, M. F., ... & Islam, M. R. (2023). Towards next generation digital twin in robotics: Trends, scopes, challenges, and future. Heliyon, 9(2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e00566

[20] Moon, H., Cheon, J., & Lee, J. (2020). Teaching block-based programming: A systematic review of current approaches and outcomes. In Society for Information Technology & Teacher Education International Conference (pp. 73–78). AACE.

[21] Coşkunserçe, O. (2023). Comparing the use of block-based and robot programming in introductory programming education: Effects on perceptions of programming self-efficacy. Computer Applications in Engineering Education, 31(5), 1234–1255. https://doi.org/10.1002/cae.22637

[22] Impagliazzo, J., & Xu, X. (2024). A competency-based transformation in computing and engineering education in the digital era. Frontiers of Digital Education, 1(1), 97–108. https://doi.org/10.1007/s44366-024-0025-8

[23] Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. Journal of Industrial Information Integration, 30, 100383. https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100383

[24] Sun, D., Looi, C. K., Li, Y., Zhu, C., & Cheng, M. (2024). Block-based versus text-based programming: A comparison of learners' programming behaviors, computational thinking skills and attitudes toward programming. Educational Technology Research and Development, 72(2), 1067–1089. https://doi.org/10.1007/s11423-023-10328-8

[25] Hu, C. C., Yang, Y. F., Cheng, Y. W., & Chen, N. S. (2024). Integrating educational robot and low-cost self-made toys to enhance STEM learning performance for primary school students. Behaviour & Information Technology, 43(8), 1614–1635. https://doi.org/10.1080/0144929X.2023.2222308

[26] Güleryüz, H., & Dilber, R. (2021). STEM activities with robotic coding: The effect on awareness of teacher candidates regarding its use in science lessons. International Journal of Engineering Technologies and Management Research, 8(11), 37–54. https://doi.org/10.29121/ijetmr.v8.i11.2021.1029

[27] Zhang, Y., Fang, L., Deng, H., Qi, Z., & Liang, H. (2023). Recent advances and future perspectives of digital twins. In 2023 IEEE International Conference on Control, Electronics and Computer Technology (ICCECT) (pp. 1563–1566). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCECT57938.2023.10140652

[28] Selim, A., Ali, I., Saracevic, M., & Ristevski, B. (2024). Application of the digital twin model in higher education. Multimedia Tools and Applications, 1–18. https://doi.org/10.1007/s11042-024-20014-3

[29] Ananias, E., & Gaspar, P. D. (2022). A low-cost collaborative robot for science and education purposes to foster the Industry 4.0 implementation. Applied System Innovation, 5(4), 72. https://doi.org/10.3390/asi5040072

[30] Refaat, D., Elawa, M. T., & Hafez, A. M. (2024). Design and development of a low-cost educational robot: A scalable and affordable software learning platform. Engineering Research

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Journal, 8(6). https://digitalcommons.aaru.edu.jo/erjeng/vol8/iss6/8

[31] Zhong, B., Zheng, J., & Zhan, Z. (2023). An exploration of combining virtual and physical robots in robotics education. Interactive Learning Environments, 31(1), 370–382. https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1786409

[32] Mustafee, N., Harper, A., & Viana, J. (2023). Hybrid models with real-time data: Characterising real-time simulation and digital twins. Proceedings of the Simulation Workshop 2023 (SW23). https://doi.org/10.36819/SW23.031

[33] Valls Pou, A., Canaleta, X., & Fonseca, D. (2022). Computational thinking and educational robotics integrated into project-based learning. Sensors, 22(10), 3746. https://doi.org/10.3390/s22103746

[34] Tiryaki, A., & Adigüzel, S. (2021). The effect of STEM-based robotic applications on the creativity and attitude of students. Journal of Science Learning, 4(3), 288–297. https://doi.org/10.17509/jsl.v4i3.32638

[35] Kurniawan, O., Lee, N. T. S., Datta, S., Sockalingam, N., & Leong, P. K. (2018). Effectiveness of physical robot versus robot simulator in teaching introductory programming. In 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) (pp. 486–493). IEEE. https://doi.org/10.1109/TALE.2018.8615190

[36] Acosta, B., Yang, W., & Posa, M. (2022). Validating robotics simulators on real-world impacts. IEEE Robotics and Automation Letters, 7(3), 6471–6478. https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3174367

[37 [33] Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. IEEE Access, 8, 108952–108971. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358

[38] Kuo, H. C., Yang, Y. T. C., Chen, J. S., Hou, T. W., & Ho, M. T. (2021). The impact of design thinking PBL robot course on college students' learning motivation and creative thinking. IEEE Transactions on Education, 65(2), 124–131. https://doi.org/10.1109/TE.2021.3090801

[39] Liljaniemi, A., & Paavilainen, H. (2020). Using digital twin technology in engineering education: Course concept to explore benefits and barriers. Open Engineering, 10(1), 377–385. https://doi.org/10.1515/eng-2020-0040

[40] Calderón, O. A. R. (2024). Fundamentos teóricos del uso de la robótica educativa. Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar, 8(1), 6364–6375. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9430312

[41] Calderón, S., Da Silva, O., Bournissen, J. M., & Tumino, M. C. (2024). Impacto de la implementación de un robot programable en la enseñanza de la programación en el nivel medio: Un estudio de caso. Revista Internacional de Estudios en Educación, 24(1), 19–40. https://riee.um.edu.mx/index.php/RIEE/article/view/323

[42] Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, A. S., Peimbert-García, R. E., Ramírez-Moreno, M. A., Ramírez-Mendoza, R. A., & Lozoya-Santos, J. D. J. (2022). Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review. Remote Sensing, 14(6), 1335. https://doi.org/10.3390/rs14061335

[43] Radanliev, P., De Roure, D., Nicolescu, R., Huth, M., & Santos, O. (2022). Digital twins: Artificial intelligence and the IoT cyber-physical systems in Industry 4.0. International Journal of Intelligent Robotics and Applications, 6(1), 171–185. https://doi.org/10.1007/s41315-021-00180-5

[44] Piaggio, M., Sgorbissa, A., & Zaccaria, R. (2000). Advanced Robotics, 14(1), 75–86. https://doi.org/10.1163/156855300741456

[45] Muratore, F., Ramos, F., Turk, G., Yu, W., Gienger, M., & Peters, J. (2022). Robot learning from randomized simulations: A review. Frontiers in Robotics and AI, 9, 799893. https://doi.org/10.3389/frobt.2022.799893

[46] López-Nicolás, G., Romeo, A., & Guerrero, J. J. (2014). Active learning in robotics based on simulation tools. Computer Applications in Engineering Education, 22(3), 509–515. https://doi.org/10.1002/cae.20576

[47] Feijoo-Almonacid, A., & Rodriguez-Garavito, C. H. (2022). Hardware-software platform for the development of STEM skills. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, 17(2), 170–177. https://doi.org/10.1109/RITA.2022.3155791

[48] Schäfer, A., Reis, G., & Stricker, D. (2022). A survey on synchronous augmented, virtual, and mixed reality remote collaboration systems. ACM Computing Surveys, 55(6), 1–27. https://doi.org/10.1145/3533376

[49] Rodriguez, S. L. C., & Castro, D. M. (2023). Flexible, scalable, and robust architecture for industrial automation applications with real-time requirements. In 2023 IEEE 6th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/CCAC.2023.10333842

[50] Li, J., & Liang, W. (2024). Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. PLOS ONE, 19(12), e0316269. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269

[51] Panasiuk, O., Akimova, L., Kuznietsova, O., & Panasiuk, I. (2021). Virtual laboratories for engineering education. In 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) (pp. 637–641). IEEE. https://doi.org/10.1109/ACIT52158.2021.9548567

[52] Chen, W., Yaguchi, Y., Naruse, K., Watanobe, Y., Nakamura, K., & Ogawa, J. (2018). A study of robotic cooperation in cloud robotics: Architecture and challenges. IEEE Access, 6, 36662–36682. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.8403209

[53] Kafai, Y. B., & Resnick, M. (Eds.). (2012). Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in digital-137.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Desarrollo de un Sistema para el Conteo Automatizado de Ganado Vacuno

*Raúl Ricardo Ginart*
*Depto. de Electrónica, Fac. de Cs. Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nac. de San Luis. Argentina*
rrginart@sanluis.edu.ar

*Norma Beatriz Perez*
*Depto. Informática, Fac. de Cs. Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nac. de San Luis. Argentina*
nbperez@unsl.edu.ar

*Mario Marcelo Berón*
*Depto. Informática, Fac. de Cs. Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nac. de San Luis. Argentina*
mberon@unsl.edu.ar

## Resumen

*Contabilizar el ganado constituye una tarea esencial para la gestión eficiente en establecimientos ganaderos, aunque tradicionalmente ha requerido un alto esfuerzo humano y se ha visto limitado por imprecisiones. En este contexto, la detección, seguimiento y conteo de ganado vacuno, en particular, mediante visión artificial, tiene como objetivo el facilitar el control de hacienda en los campos de cría o invernada. Automatizar el proceso promete reducir errores y optimizar la trazabilidad de la hacienda. Sin embargo, factores como la calidad del video, la raza del animal, las condiciones de iluminación, la distancia de captura y la presencia de obstáculos en movimiento pueden afectar la precisión del sistema.*

*En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un sistema para el conteo automatizado de ganado vacuno en movimiento, haciendo uso de la librería OpenCV del lenguaje de programación Python, bajo el entorno de desarrollo Spyder. Las capturas de imágenes se realizaron mediante un dron a una altura aproximada de 20 metros, en condiciones controladas de luminosidad y en un terreno llano con forraje. El rodeo estuvo conformado por animales de raza mixta, lo que aportó diversidad cromática al proceso de reconocimiento.*

*Se implementaron diversas técnicas de procesamiento de imágenes, entre ellas filtrado, operaciones morfológicas como erosión y dilatación, y métodos de seguimiento de objetos, con el fin de mejorar la detección individual y la precisión del conteo. Los resultados obtenidos muestran que es posible alcanzar un nivel de confiabilidad adecuado para su aplicación en entornos reales, sentando las bases para futuras mejoras en la automatización del control de hacienda.*

***Palabras clave:*** *detección, clasificación, seguimiento, técnicas de procesamiento de imágenes.*

## Introducción

La ganadería constituye una de las principales actividades productivas en gran parte de América Latina y del mundo, siendo un pilar fundamental para la economía y el abastecimiento de alimentos [1]. En este contexto, la gestión precisa del stock ganadero adquiere un papel central para garantizar tanto la trazabilidad como la eficiencia en los procesos productivos. Sin embargo, el conteo manual de animales sigue siendo una práctica habitual en numerosas explotaciones, lo cual conlleva una serie de limitaciones significativas: demanda de tiempo, necesidad de mano de obra intensiva y exposición a riesgos para los trabajadores y posibilidad de errores humanos que afectan la fiabilidad de los registros.

Ante estos escenarios se ve reflejada la necesidad de aplicar nuevas técnicas y/o metodologías de vanguardia que permitan mitigar los problemas antes mencionados. Los avances en tecnologías digitales, particularmente en visión artificial y procesamiento de imágenes, ofrecen un marco propicio para el desarrollo de soluciones automatizadas que optimicen la supervisión y el control de la hacienda.

### 1.1 Visión Artificial y su Aplicación en el Conteo de Ganado

La visión artificial constituye una de las ramas más relevantes dentro del campo de la inteligencia artificial y el procesamiento digital de imágenes, dado que permite la extracción, interpretación y análisis automatizado de información visual proveniente de cámaras o sensores [2]. Su aplicación en el sector agropecuario ha cobrado creciente interés, particularmente en la ganadería de precisión, donde se busca optimizar procesos de control y gestión del ganado mediante tecnologías digitales avanzadas [1, 3].

En el caso específico del conteo de ganado vacuno, la visión artificial ofrece una alternativa eficiente frente a los métodos tradicionales, que suelen ser manuales, demandar un alto esfuerzo humano y presentar márgenes de error considerables. A través del uso de algoritmos de detección y seguimiento de objetos, permite identificar de manera automática a cada animal en imágenes o secuencias de vídeo, incluso en condiciones de variabilidad lumínica, movimiento del rebaño o complejidad del entorno [3].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El desarrollo de estos sistemas se apoya en técnicas de aprendizaje profundo (deep learning) y en bibliotecas especializadas como OpenCV, entre otras, que permiten entrenar modelos capaces de reconocer patrones visuales asociados al ganado [2].

La incorporación de la visión artificial al proceso de conteo de ganado no solo mejora la precisión y la eficiencia operativa, sino que también contribuye a una gestión más sostenible y tecnificada de la producción animal, favoreciendo la toma de decisiones basada en datos y alineándose con las tendencias de la agricultura de precisión.

### 1.2 Procesamiento de Imágenes Aplicado al Conteo de Ganado Vacuno

El procesamiento digital de imágenes constituye un campo fundamental dentro de la ingeniería y las ciencias de la computación, orientado a la transformación, análisis e interpretación de información visual mediante algoritmos computacionales [4]. A través de esta disciplina, es posible realizar tareas como segmentación, detección de bordes, filtrado y reconocimiento de patrones, las cuales resultan esenciales para aplicaciones en agricultura y ganadería de precisión [1, 2].

En el caso del conteo de ganado vacuno, el procesamiento de imágenes ofrece soluciones innovadoras frente a los métodos manuales, que suelen ser costosos en tiempo, demandar gran esfuerzo humano y presentar errores asociados a las condiciones del entorno [5]. El análisis automatizado de secuencias de vídeo o imágenes captadas por cámaras fijas, drones o incluso satélites permite identificar y contabilizar animales con altos niveles de precisión y en tiempo real [4, 5].

1.2.1 Principales Técnicas Aplicadas al Conteo Ganadero

1. **Preprocesamiento de Imágenes**: incluye la normalización de brillo, reducción de ruido y corrección geométrica, con el fin de mejorar la calidad de los datos visuales y facilitar la posterior detección de objetos.
2. **Segmentación y Detección**: algoritmos de segmentación basados en umbral adaptativo, clustering (k-means, GMM) o técnicas modernas como Redes Neuronales Convolucionales (CNNs) permiten separar los animales del fondo, incluso en condiciones de oclusión parcial o variaciones de iluminación [6].
3. **Seguimiento y Conteo**: mediante técnicas de object tracking como SORT, DeepSORT o Kalman Filter, es posible realizar un conteo preciso, evitando duplicaciones o pérdidas de detección en escenas con movimiento [7].
4. **Aprendizaje Profundo (Deep Learning):** modelos avanzados como YOLO, Mask R-CNN y EfficientDet han mostrado resultados sobresalientes en la detección y conteo de ganado, con tasas de precisión superiores al 90 % en entornos de campo y corrales [8].

### 1.3 Impacto y Perspectivas

La aplicación del procesamiento de imágenes en la ganadería no solo contribuye al conteo automatizado, sino que además habilita sistemas de monitoreo del comportamiento animal, detección de enfermedades, estimación de peso y control de bienestar [9]. Estas tecnologías se alinean con el paradigma de la ganadería en la que la integración de visión artificial, IoT y big data promueve una gestión más eficiente, sostenible y basada en evidencia científica [10].

En consecuencia, el procesamiento digital de imágenes aplicado al conteo de ganado vacuno se posiciona como una herramienta estratégica para mejorar la precisión en la administración de recursos productivos, reducir costos operativos y aportar a la transformación tecnológica del sector agropecuario.

La aplicación del procesamiento de imágenes y la visión artificial en el ámbito ganadero permiten no solo incrementar la precisión en el conteo de animales, sino también reducir la intervención humana directa, mejoran la seguridad de las operaciones y generan información (registros precisos) más confiable para la toma de decisiones.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema para el conteo automatizado de ganado vacuno, basado en el uso de visión artificial a través de la librería OpenCV [11] y el lenguaje de programación Python [12].

#### 1.3.1 Python y OpenCV

Como se mencionó anteriormente, este sistema se basa en la utilización del lenguaje de programación Python y la biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library) [11, 12]. Dado que Python ofrece un entorno flexible y de alto nivel y una amplia variedad de librerías que facilita la implementación de algoritmos de visión artificial y el procesamiento de secuencias de video.

OpenCV proporciona herramientas integrales para la captura, procesamiento y análisis de imágenes y videos, permitiendo detectar, seguir y contar los animales de manera automática. Su integración con Python permite desarrollar un sistema modular y escalable, capaz de adaptarse a distintos escenarios productivos y optimizar la precisión en el conteo, reduciendo la intervención humana y mejorando la confiabilidad de los registros, además de habilitar múltiples de otras aplicaciones en visión computacional y análisis de datos visuales.

### 1.4 Escenario de Trabajo

El sistema fue diseñado para operar en condiciones de campo abierto, considerando variables que pueden afectar la detección y seguimiento, tales como la calidad del video, la altura y ángulo del sobrevuelo del dron, la raza del animal y la diversidad cromática de los animales, así como la presencia de obstáculos dinámicos en el entorno.

Se analizan los desafíos asociados a la detección, clasificación y seguimiento de los vacunos en movimiento, y se describen los mecanismos implementados para mejorar la precisión del reconocimiento. En particular, se exploran técnicas de filtrado, transformaciones morfológicas y méto-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



dos de seguimiento por centroides, que permiten optimizar el proceso de identificación y conteo.

El objetivo de este trabajo es demostrar la viabilidad del uso de sistemas de visión artificial en el ámbito ganadero, sentando las bases para futuras mejoras en términos de escalabilidad, robustez y adaptabilidad del sistema a distintos escenarios productivos.

## Metodología y Desarrollo del Sistema

El algoritmo tiene como objetivo principal detectar, seguir y contar animales en movimiento a partir de la captura de video obtenida mediante el sobrevuelo de un dron, operando a una altura aproximada de 20 metros en condiciones de campo abierto.

Diversos factores influyen en la precisión de la detección y el seguimiento, entre ellos la calidad del video, la iluminación, la raza y coloración de los animales, la presencia de obstáculos en movimiento y el ángulo de captura. Para abordar estas dificultades, se aplicaron múltiples etapas de procesamiento digital de imágenes, que se detallan a continuación.

### 2.1 Conversión de Espacios de Color

Se realizó la transformación de las imágenes desde el formato RGB a HSV, cuyo mapa de colores se muestra en la Figura 1. Este espacio de color facilita la segmentación de colores en función de la tonalidad, saturación y luminosidad [13]. Este cambio permite discriminar de manera más precisa las variaciones cromáticas presentes en animales de razas mixtas y en diferentes condiciones de iluminación [14].

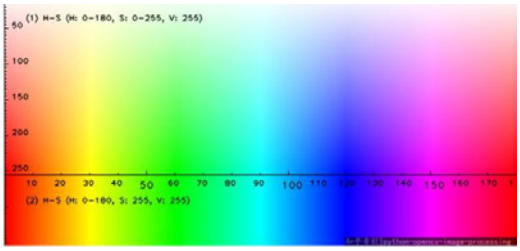



**Figura 1: Mapa de colores HSV.**




**Figura 2: Sentencia para transformar imagen RGB a HSV.**

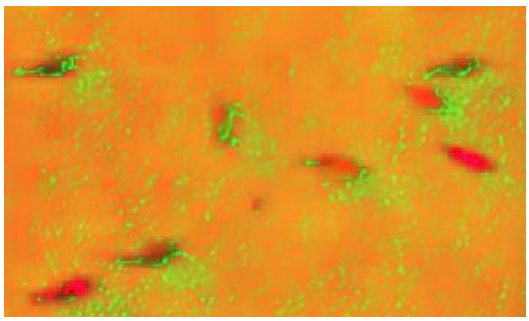


**Figura 3: Resulta de transformación a HSV.**

Como resultado se obtiene una imagen similar a un mapa de calor, comparable a la imagen capturada por una cámara infrarroja, tal como se evidencia en la Figura 3 [15].

### 2.2 Generación de Máscara y Filtrado Morfológico

Posteriormente, se definió un rango de colores calibrado con el objetivo de generar una máscara binaria, que permitiera resaltar los animales respecto del entorno. Dicha máscara fue sometida a operaciones morfológicas de erosión y dilatación, con el fin de eliminar ruido y mejorar la definición de los contornos [4]. El resultado visual se presenta en la Figura 5.




**Figura 4: Sentencia para calibrar un rango de colores.**

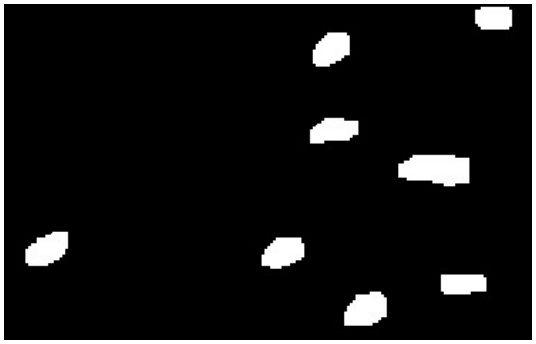


**Figura 5: Máscara a utilizar luego de transformaciones morfológicas.**

### 2.3 Extracción de Contornos y Selección de Áreas Válidas

Los objetos detectados fueron evaluados a partir de la extracción de contornos. Se filtraron en función del área estimada de cada animal, teniendo en cuenta la escala correspondiente a la altura del dron (aprox. 180–600 píxeles por ejemplar). Además, se aplicó un criterio de relación de aspecto (RA), definido entre 0,25 y 2, para descartar objetos que no correspondiera a vacunos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La relación de aspecto es la división entre el alto y ancho del rectángulo:

$$PA = \frac{Alto_{rect}}{Ancho_{rect}} = 0.25 \sim 2$$

### 2.4 Seguimiento de Objetos por Centroides

Una vez identificados los animales, se implementó un algoritmo de seguimiento basado en centroides, el cual asigna un identificador único (ID) a cada ejemplar y mantiene su trazabilidad a lo largo de la secuencia de vídeo.

Existen diversos métodos de seguimiento, como el Lucas–Kanade, ampliamente utilizado en estimación de flujo óptico en regiones locales pequeñas [16]; o técnicas de flujo óptico denso, como la de Farnebäck, aunque de mayor complejidad computacional [17]. En contraste, el seguimiento por centroides ofrece una solución simple y eficiente en escenarios con múltiples objetos: desde enfoques clásicos como el de Abrantes y Marques [18] hasta métodos híbridos que combinan predicciones y centroides para manejar oclusiones parciales [19]. Incluso en aplicaciones modernas como la detección de ganado desde drones, se ha integrado Mask R-CNN con seguimiento de centroides para evitar recuentos duplicados [20]. Para el desarrollo del algoritmo se consultaron repositorios y guías de programación aplicada a robótica y visión artificial [21].

El diseño del rastreador se realizó bajo un enfoque de programación orientada a objetos (POO), lo que permitió estructurar el código en una clase dedicada al seguimiento. Esta clase concentra los métodos necesarios para inicializar parámetros, registrar y eliminar animales detectados, así como mantener la coherencia de las trayectorias mediante la asociación de centroides antiguos con los actuales.

Dentro del método seguimiento, se utilizan las coordenadas de los rectángulos delimitadores y se aplican las siguientes fórmulas para calcular la posición del centroide:

$$C_x = \frac{start_x + end_x}{2}$$

$$C_y = \frac{start_y + end_y}{2}$$

Tal como se puede observar en las Figuras 6 y 7, los centroides actuales se asocian con los previamente almacenados en función de la distancia mínima. Cuando un nuevo centroide no puede vincularse con ninguno anterior, se le asigna un identificador único (ID).

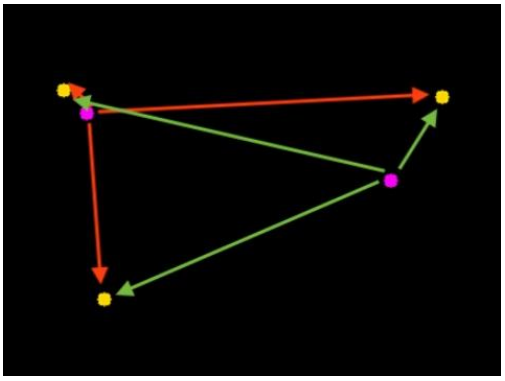


**Figura 6: Ejemplo de diagrama de centroides antiguos y actuales.**

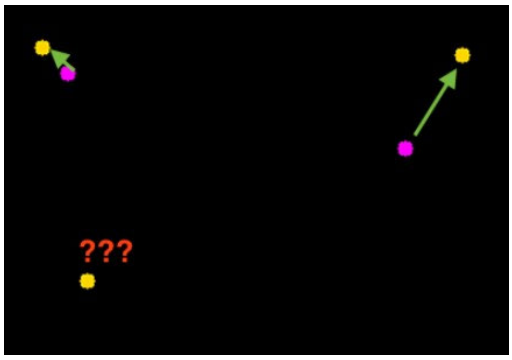



**Figura 7: Asociación de centroides antiguos con centroides actuales.**

El rastreador también debe ser capaz de eliminar los registros de objetos que no logran asociarse con ningún animal detectado durante un número determinado de cuadros consecutivos. Para ello, se estableció un parámetro denominado maxDisappeared = 10. Si un animal permanece más de 10 fotogramas consecutivos sin ser detectado, se asume que ha salido definitivamente del campo de visión y se descarta su seguimiento.

### 2.5 Representación Gráfica y Conteo Acumulativo

Finalmente, el sistema proyecta sobre el video original los rectángulos delimitadores, el ID asignado a cada animal y un contador acumulativo que refleja la cantidad total de vacunos identificados.

El identificador se gestiona mediante la variable objectID, la cual se actualiza en cada fotograma. El valor máximo alcanzado por dicha variable corresponde al número total de animales detectados a lo largo de la secuencia. Al tratarse de un valor acumulativo, este mecanismo permite contabilizar todos los ejemplares que han aparecido en el video, incluso aquellos que ya han abandonado el campo de visión.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El resultado final permite visualizar:

- Un recuadro delimitador mínimo por cada animal.
- El identificador único (ID) asignado a cada ejemplar, como se muestra en la Figura 8, que presenta una representación general del identificador.
- El contador acumulativo total de animales registrados.




**Figura 8: Objetos identificados con su ID.**

## Modelo

El sistema de conteo automatizado de ganado vacuno se organiza en una arquitectura por etapas, que comienza con el procesamiento del video ingresado y termina registrando el número de animales. El modelo se resume en cinco fases principales:

1. **Captura de Video**: realizada mediante un dron que sobrevuela el área de interés a una altura aproximada de 20 metros, obteniendo una vista panorámica de los animales en movimiento. Esté video se descarga para luego ser procesado.
2. **Preprocesamiento de Imagen**: comprende la conversión de espacios de color (RGB a HSV) y la aplicación de operaciones morfológicas de filtrado, destinadas a resaltar las regiones de interés y reducir ruido [11].
3. **Detección de Objetos:** identificación de contornos y selección de áreas válidas, en función del tamaño esperado y la relación de aspecto característica de los vacunos.
4. **Seguimiento por Centroides**: asignación de identificadores únicos (ID) a cada ejemplar y trazabilidad de su movimiento en la secuencia de video.
5. **Conteo Acumulativo y Visualización:** integración de los resultados, mostrando en el video original los recuadros delimitadores, los ID asignados y el número total de animales contabilizados.

El modelo de la Figura 9 representa de manera esquemática el flujo de procesamiento del sistema, desde la adquisición de las imágenes hasta la obtención del conteo final.

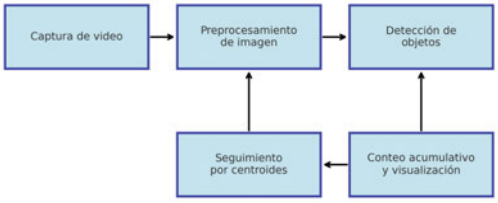



**Figura 9: Modelo conceptual del sistema de conteo automatizado de ganado vacuno.**

El modelo muestra la arquitectura modular del sistema. A partir de la captura de video mediante un dron, se realiza un proceso de preprocesamiento de imagen para mejorar la segmentación. Posteriormente, se lleva a cabo la detección de objetos, la cual permite identificar posibles animales. Estos son seguidos a través del método de centroides, asignándoles identificadores únicos. Finalmente, el sistema integra los resultados en un conteo acumulativo, que es visualizado en el video original.

## Resultados

El sistema fue evaluado utilizando material audiovisual obtenido a partir del sobrevuelo de un dron a una altura aproximada de 20 metros sobre un lote de ganado vacuno de raza mixta en condiciones de campo abierto. El video, de una duración aproximada de 3 minutos, fue grabado en un día soleado con alta luminosidad se descarga y procesa en un equipo de cómputo. Este enfoque de procesamiento offline permitió realizar un análisis más controlado, aunque limita la aplicación inmediata en escenarios que requieran resultados en línea.

Durante el sobrevuelo se registraron variaciones naturales en el escenario, que sirvieron como base para evaluar el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones:

- presencia de animales de distintas razas y coloraciones,
- disposición espacial variable, con momentos de ganado disperso y otros con ejemplares agrupados,
- y cambios de brillo y contraste debido a la incidencia directa del sol.

El algoritmo permitió la detección y seguimiento de los animales mediante la generación de máscaras en espacio de color HSV, la extracción de contornos y la aplicación del método de centroides.

El procesamiento del video requiere un 20% más de tiempo que su duración en sí, en un equipo con procesador Intel I3 y 8GB de RAM, lo que evidencia un rendimiento aceptable en modo offline.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema es capaz de contabilizar los ejemplares de manera confiable

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cuando los animales se encuentran a una distancia adecuada entre sí. En particular, se alcanzó un nivel satisfactorio de detección individual en escenarios donde los vacunos se desplazaban de forma dispersa, logrando un conteo acumulativo estable a lo largo de la secuencia de vídeo. Con las condiciones que se presentaron en la captura realizada se alcanzó una precisión del 98%, cifra que puede sufrir modificaciones con los vacunos menos dispersos o modificando el escenario.

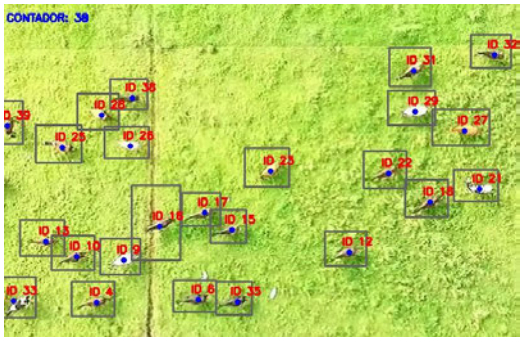



**Figura 10: Muestra de ejecución del sistema.**

No obstante, se identificaron limitaciones en situaciones donde dos o más animales permanecían muy próximos o parcialmente superpuestos. En dichos casos, el sistema tendía a agruparlos como un único objeto, reduciendo la precisión del conteo. Asimismo, se observó que factores como la variación de luminosidad y la heterogeneidad del terreno introducían ruido en la segmentación de las imágenes, afectando la consistencia del rastreo. Aun así, el conteo acumulativo final coincidió con el número real de ejemplares presentes en el lote, validando la efectividad del enfoque propuesto en condiciones de campo abierto.

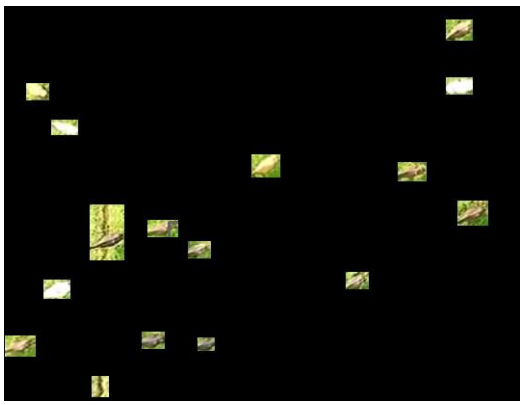


**Figura 11: Operación morfológica AND entre máscara de recuadros y video original.**

## Conclusiones y Trabajos Futuros

El trabajo presentado demuestra la viabilidad de aplicar técnicas de visión artificial al conteo automatizado de ganado vacuno. La implementación desarrollada, basada en Python y OpenCV, permitió identificar y seguir animales en movimiento bajo condiciones de campo abierto, integrando los resultados en un contador acumulativo.

El modelo es escalable a rodeos más numerosos, ya que la duración del video no representa un límite para el algoritmo.

Como resultado positivo es importante destacar que con un equipo de recursos no muy sofisticados como lo son un dron comercial estándar y un equipo de cómputo con procesador Intel I3 4ta generación y 8 GB de RAM, logran procesar el vídeo frame por frame incrementando ligeramente su duración. Y da pauta de que podría ser integrado en un sistema embebido, integrado por una Raspberry Pi.

Otra mejora para potenciar al sistema consiste en integración de posibilidad de procesamiento en tiempo real.

Si bien el sistema logró un desempeño aceptable en condiciones controladas, aún presenta limitaciones en escenarios con alta densidad animal o con superposición de ejemplares. Estas limitaciones sugieren la necesidad de incorporar técnicas más robustas, como algoritmos de segmentación avanzados (ej. watershed) o modelos de aprendizaje profundo (ej. YOLO [8], Mask R-CNN [6, 9, 22]), que podrían mejorar significativamente la precisión del sistema.

En síntesis, el prototipo desarrollado constituye un punto de partida para el diseño de soluciones tecnológicas aplicadas al sector ganadero, con potencial de escalar hacia sistemas más sofisticados de trazabilidad y gestión de la hacienda, aportando a la eficiencia y sostenibilidad de la actividad ganadera.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Referencias

[1] C. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M.-J. Bogaardt, "Big Data in Smart Farming – A review," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 143, pp. 23–37, 2017.

[2] S. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*, 2nd ed. Springer, 2022.

[3] J. Li et al., "Cattle identification and counting using deep learning and computer vision," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 123456–123467, 2019.

[4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4th ed. Pearson, 2018.

[5] L. Ilievski, K. Giri, and D. Miljković, "Computer vision applications in livestock: A systematic review," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 6, pp. 34–52, 2022, doi: 10.1016/j.aiia.2022.01.002.

[6] B. Xu, X. Zhang, and S. Ji, "Automated cattle counting using Mask R-CNN in quadcopter vision system," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 20, p. 3335, 2020, doi: 10.3390/rs12203335.

[7] A. Leal, A. Andrade, and R. Souza, "Cattle detection and counting in aerial images using YOLO9," in Anais do Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (ENIAC), 2024, pp. 1–12.

[8] J. Bello and O. Oladipo, "Deep learning models for automated cattle detection and counting," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 204, pp. 107–118, 2024.

[9] A. Andrew, B. Smith, and C. Johnson, "Applications of image processing in livestock monitoring," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 175, pp. 105–115, 2020.

[10] S. Torrusio, Y. Michelini, and F. Gómez, "Detecting and counting livestock in very high-resolution satellite images: A case study in Argentina," *ISPRS Archives*, vol. XLVIII-4-2024, pp. 459–466, 2024.

[11] G. Bradski and A. Kaehler, Learning OpenCV 4: *Computer Vision with Python*, 3rd ed. O'Reilly Media, 2020.

[12] *Python Software Foundation, Python Language Reference*, version 3.11.

[13] R. González, *Fundamentos de procesamiento de imágenes: espacios de color y segmentación*. Editorial Científica, 2020.

[14] L. Martínez, S. Fernández, and M. Ruiz, "Segmentación de patrones cromáticos en animales mediante análisis HSV," *Revista Iberoamericana de Visión por Computador*, vol. 12, no. 2, pp. 45–56, 2018.

[15] J. López and A. Pérez, "Visualización de datos biométricos por medio de técnicas de mapeo de calor," in *Proc. Conf. Int. de Imágenes Digitales*, 2021, pp. 123–130.

[16] B. D. Lucas and T. Kanade, "An iterative image registration technique with an application to stereo vision," *IJCAI*, 1981.

[17] "Optical flow– Lucas–Kanade method," Wikipedia, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lucas%E2%80%93Kanade_method. [Accessed: Aug. 25, 2025].

[18] A. J. Abrantes and J. S. Marques, "Shape Tracking Using Centroid-Based Methods," in *EMMCVPR, LNCS* vol. 2134, Springer, 2001, pp. 576–591.

[19] J. Singh, "Tracking of Moving Object Using Centroid based Prediction" *IJIGSP*, vol. 9, no. 8, pp. 59–66, 2017.

[20] A. Rosebrock, *Practical Python and OpenCV + Case Studies*, 4th ed. PyImageSearch, 2016.

[21] A. Rosebrock, PyImageSearch: Computer Vision and Deep Learning Tutorials, [Online]. Available: https://www.pyimagesearch.com/. [Accessed: Aug. 25, 2025].

[22] W. Andrew, C. McCool, S. Denman, and C. Fookes, "Visual identification of individual Holstein-Friesian cattle via deep metric learning," *arXiv preprint arXiv:2006.09205*, 2020.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Integración de un Sistema Retrieval-Augmented Generation (RAG) con Ollama para el Análisis de Expedientes Judiciales.

*Osvaldo Spositto, Julio Bossero, Lorena Matteo, Sebastián Quevedo, Alfonso Palomares*
*Universidad Nacional de La Matanza. Departamento de ingeniería e Investigación Tecnológicas. Florencio Varela 1903. San Justo. La Matanza. Buenos Aires. Argentina.*
*{spositto, jbossero, lmatteo, jquevedo, lpalomares }@unlam.edu.ar*

## Resumen

*Este trabajo presenta un nuevo avance en la línea de investigación en Sistemas de Recuperación de Información (SRI) de la Universidad Nacional de La Matanza, aplicada a documentación judicial. Se propone la integración de la arquitectura Retrieval-Augmented Generation (RAG), que combina la recuperación semántica con la generación de respuestas a través de Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLMs). La implementación se llevó a cabo en un entorno local que integra Ollama, ONNX Runtime y .NET 8, con el objetivo de garantizar privacidad, escalabilidad y eficiencia. El prototipo desarrollado procesa expedientes judiciales, genera embeddings semánticos, los almacena en bases vectoriales y produce respuestas contextualizadas a partir de consultas en lenguaje natural. Los resultados preliminares evidencian mejoras en la precisión de recuperación, reducción de alucinaciones y tiempos de respuesta compatibles con un uso práctico. Asimismo, se destacan las ventajas del enfoque local frente a soluciones en la nube y se proyectan como líneas futuras la evaluación con operadores judiciales y la incorporación en sistemas expertos para usuarios no técnicos.*

## 1. Introducción

El presente trabajo constituye la continuidad de una línea de investigación sostenida, que pertenece al Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT), perteneciente a la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM), en el ámbito de los Sistemas de Recuperación de Información (SRI), desarrollada a lo largo de más de una década mediante sucesivos proyectos de Investigación Científica y Tecnológica (PROINCE[1]). En particular, se inscribe como continuación directa de los siguientes desarrollos:

- **C151 (2013–2014)**: *Implementación de un Sistema de Recuperación de la Información*
- **C177 (2015–2016)**: *Optimización de la Recuperación de Documentos usando como Técnica base el ISL*
- **C205 (2017–2018)**: *Uso de Minería de Datos para Acelerar la Recuperación de Documentos*
- **C225 (2019–2020)**: *Resolución Eficiente de la Descomposición en Valores Singulares en una Arquitectura Híbrida y su Posterior Inserción en un SRI*
- **C241 (2021–2022)**: *Implementación de un Sistema Web de Recuperación de la Información Orientado a Documentación Jurídica con el Proceso de Indexación Semántica Latente Paralelizado*
- **C268 (2025–2026)**: *Optimización de un Sistema de Recuperación de Información para Expedientes Digitalizados en la UNLaM: Integración de Algoritmo K-Means Mejorado y Exploración de Técnicas Avanzadas*

Estos proyectos permitieron construir, de manera incremental, un prototipo funcional de SRI, inicialmente con interfaz de escritorio y luego adaptado a entornos web, orientado a la documentación expedientes jurídicos. A lo largo de esta trayectoria se exploraron técnicas de análisis semántico, algoritmos de minería de datos para agrupamiento y clasificación, y arquitecturas híbridas CPU–GPU para acelerar procesos de similitud y comparación de vectores. Las experiencias acumuladas evidenciaron las dificultades inherentes al alto costo computacional de comparar consultas con grandes corpus documentales, lo que motivó la búsqueda de estrategias de segmentación y optimización [1-2].

En este contexto, el presente trabajo propone un nuevo avance mediante la incorporación del paradigma Generación Aumentada por Recuperación (en inglés Retrieval Augmented Generation -RAG-), una arquitectura emergente que combina la recuperación semántica de fragmentos relevantes con la generación automática de respuestas mediante Modelos de Lenguaje de Gran Escala (en inglés Large Language Model -LLMs-).

La metodología RAG se presenta como una solución eficaz para superar las limitaciones de los sistemas tradicionales de recuperación y generación de información. Tal como se describe en el trabajo de Hernández Suárez [3], RAG combina la capacidad de los modelos de recuperación para localizar fragmentos de texto altamente relevantes con la potencia de los modelos generativos para elaborar respuestas coherentes y precisas. En particular, la integración con LLMs como GPT-4[2], entrenados sobre vastos corpus multitemáticos, permite sintetizar información contextualizada a partir de evidencia

[1] Los proyectos PROINCE dependen principalmente del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) y se gestionan en articulación con la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU) del Ministerio de Educación de la Nación Argentina.

[2] https://openai.com/es-ES/index/gpt-4-research/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



documental, incluso en dominios especializados. Esta sinergia posibilita el acceso a fuentes de conocimiento externas en tiempo real, mejorando la precisión y relevancia de las respuestas generadas, especialmente en contextos donde la información es técnica, extensa y dinámica, como ocurre en los documentos legales.

La implementación propuesta se basa en tecnologías modernas que aseguran escalabilidad, eficiencia y compatibilidad con entornos locales. Se utiliza .NET 8[3], la última versión del framework de desarrollo de Microsoft, que ofrece mejoras significativas en rendimiento, interoperabilidad y soporte para inteligencia artificial.

El modelo de lenguaje se ejecuta localmente mediante ONNX[4] (Open Neural Network Exchange), un formato abierto que permite integrar modelos pre-entrenados en distintos entornos sin depender de servicios externos, garantizando así la seguridad y el control sobre los datos procesados. Para el almacenamiento vectorial y la gestión de consultas semánticas se emplea SQL Server 2025[5], que incorpora capacidades nativas para trabajar con vectores y realizar búsquedas aproximadas de similitud.

El desarrollo del prototipo se estructuró en etapas sucesivas que abarcan todo el ciclo de procesamiento de los expedientes judiciales. En primer lugar, se realizó la ingestión y preprocesamiento de documentos en texto plano, lo que incluyó la segmentación en fragmentos de tamaño uniforme y la normalización del contenido. Luego, cada segmento se sometió a una tokenización[6] avanzada, utilizando el vocabulario específico provisto por el modelo en formato ONNX.

A continuación, se aplicó la clase InferenceSession de ONNX Runtime, que actúa como motor de inferencia. Esta clase permite cargar el modelo previamente entrenado y ejecutar sobre él las operaciones necesarias para transformar cada fragmento en un embedding semántico: un vector denso que representa el significado del texto en un espacio multidimensional. Dichos embeddings se almacenaron en dos modalidades: archivos JSON[7] (para pruebas livianas y rápidas) y en SQL Server 2025 (que incorpora soporte nativo para columnas vectoriales y consultas de similitud).

Con esta base, se diseñó un sistema de recuperación semántica que, ante una consulta en lenguaje natural, genera su embedding, lo compara con los vectores previamente indexados y selecciona los fragmentos más relevantes. Estos fragmentos se integran en un prompt, entendido como la instrucción o mensaje de entrada que se envía al modelo de lenguaje, aportando contexto documental al modelo para que genere respuestas más precisas y fundamentadas.

Finalmente, el prompt se envía a un modelo de lenguaje de gran escala (LLM) desplegado localmente mediante OLLama. Este enfoque permite operar en un entorno completamente controlado, donde el modelo se ejecuta dentro de la infraestructura de la institución, sin depender de servicios en la nube.

Esta configuración garantiza la privacidad de los datos judiciales, reduce los riesgos asociados a la transferencia de información sensible y proporciona un control total sobre la configuración, escalabilidad y seguridad del sistema. Además, al eliminar la necesidad de comunicación externa, se obtienen tiempos de respuesta bajos y consistentes, adecuados para aplicaciones prácticas en el ámbito judicial.

En este contexto, el prompt representa el mensaje de entrada que se envía al modelo de lenguaje. No se limita a la consulta original del usuario, sino que incluye también fragmentos relevantes recuperados del corpus jurídico y, opcionalmente, reglas o información adicional. La Figura 1 ilustra el proceso de construcción de un prompt en un sistema RAG.

**Figura 1. Construcción de un Prompt en un Sistema RAG**




## 2. Marco Referencial

### 2.1 Los Sistemas de Recuperación de Información.

Los SRI pueden definirse como el conjunto formado por un corpus de documentos, las consultas de los usuarios y un mecanismo capaz de determinar qué documentos satisfacen dichas consultas. En términos prácticos, devuelven una lista ordenada de resultados considerados relevantes para la necesidad de información planteada [7].

Según Tolosa y Bordignon [8], la recuperación de información consiste en el problema de "encontrar y rankear documentos relevantes que satisfagan la necesidad de información de un usuario, expresada en un determinado lenguaje de consulta".

[3] https://dotnet.microsoft.com/es-s/download/dotnet/8.0
[4] https://onnxruntime.ai/
[5] https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server - downloads
[6] Es el proceso de dividir un texto en unidades más pequeñas llamadas "tokens". Estas unidades pueden ser palabras, frases, caracteres o incluso subpalabras, dependiendo del contexto y del sistema que la utilice.
[7] JSON (JavaScript Object Notation) es un formato ligero de intercambio de datos, fácil de leer y escribir para humanos, y fácil de parsear y generar por máquinas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para ello, un SRI debe cubrir varias funciones esenciales:

- Representar los documentos (y opcionalmente almacenar su versión original).
- Representar la necesidad del usuario como una consulta.
- Evaluar los documentos frente a dicha consulta para estimar su relevancia.
- Ordenar o rankear los resultados y construir el conjunto de respuesta.
- Presentar la información recuperada al usuario.
- Incorporar mecanismos de retroalimentación para refinar las consultas y mejorar la calidad de las respuestas.

La Figura 2 ilustra la arquitectura básica de un SRI, el tratamiento de los documentos y la interacción con el usuario. En entornos de investigación, este tipo de sistemas se enfrenta al desafío de trabajar con corpus voluminosos, cuya conversión a modelos de almacenamiento es costosa en términos computacionales.

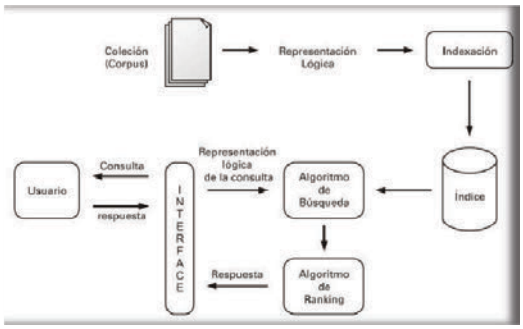



**Figura 2. Arquitectura básica de un SRI [8].**

Dentro de los modelos más utilizados en SRI se encuentra el Modelo de Espacio Vectorial (MEV), en el cual este grupo de investigación viene trabajando desde hace años. El MEV representa documentos y consultas en forma de vectores dentro de un espacio multidimensional. Cada término recibe un peso asociado, normalmente calculado mediante la medida TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) [4, 5 y 6].

El TF refleja la frecuencia de un término dentro de un documento, mientras que el IDF atenúa la importancia de palabras muy comunes en todo el corpus. El producto de ambos valores (TF*IDF) asigna un peso que expresa qué tan representativo es un término para un documento específico. Por ejemplo, si en un texto de 1000 palabras el término “expediente” aparece 25 veces, y este término se encuentra en 1000 de un total de 10 millones de documentos, el cálculo arroja un valor TF-IDF de 0,1, lo que refleja una relevancia moderada. En la práctica, el MEV construye una matriz de términos y documentos, donde cada fila representa un documento y cada columna un término. Así, cada documento puede representarse como un vector de frecuencias: D1 = (1, 2, 0, …, 1, 3)

En este contexto, una consulta se puede tratar también como un vector. Para medir la similitud entre una consulta y un documento se recurre frecuentemente al coseno del ángulo entre ambos vectores, una métrica eficiente y ampliamente utilizada en recuperación de información. Documentos con mayor puntaje de similitud son considerados más relevantes.

La Figura 3 muestra un ejemplo de representación vectorial en un espacio tridimensional, donde documentos y términos se ubican como vectores en función de sus características

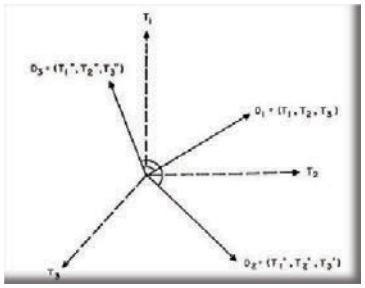


**Figura 3. Representación vectorial espacial de los documentos. Fuente: [4]**

En síntesis, el MEV constituye un marco algebraico que permite representar y comparar documentos y consultas de manera numérica, facilitando el cálculo de relevancias y rankings de respuesta. No obstante, su aplicación con grandes corpus acarrea un elevado costo computacional, lo que motiva la exploración de técnicas de optimización y segmentación que reduzcan el tiempo de cómputo sin sacrificar precisión [9-10].

Antes de la era de los modelos de lenguaje modernos, los SRI se enfrentaban al reto de manejar la ambigüedad del lenguaje. Este modelo, si bien útil, se veía limitado por la llamada "sinonimia" (palabras diferentes con el mismo significado) y la "polisemia" (la misma palabra con varios significados). Para abordar esto, se desarrolló la Indexación Semántica Latente (en inglés Latent Semantic Indexing -LSI-). Esta técnica utilizaba la Descomposición en Valores Singulares (en inglés Singular Value Decomposition -SVD-) para analizar la matriz de coocurrencia de términos y documentos. A través de la SVD, el LSI reducía la dimensionalidad de esta matriz, revelando las relaciones semánticas subyacentes o "conceptos latentes" que no eran evidentes a simple vista [9-10]. Al aplicar la SVD, el LSI lograba un doble propósito: compactaba la representación de los documentos y permitía que la recuperación se basara en conceptos en lugar de en la coincidencia exacta de palabras clave. Por ejemplo, al buscar "coche", el sistema podía también recuperar documentos que hablaban de "automóvil" o "vehículo" porque el LSI había identificado una relación conceptual entre estos términos a partir de su aparición en contextos similares. Si bien fue una mejora significativa, el LSI seguía siendo un modelo de "bolsa de palabras" que no consideraba el orden ni la estructura del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



texto, y su efectividad estaba atada al corpus de entrenamiento específico.

**2.2 Embeddings y el surgimiento de RAG.**

El paradigma cambió radicalmente con la llegada de los *embeddings*. A diferencia de las representaciones dispersas del LSI, los *embeddings* son vectores densos generados por modelos de lenguaje preentrenados sobre grandes corpus de texto. Estos modelos aprenden patrones y relaciones contextuales complejas, permitiendo representar palabras, frases o documentos como puntos en un espacio vectorial. En este espacio, la proximidad entre vectores refleja similitud semántica más que coocurrencia. Por ejemplo, el vector de la frase *"el perro corrió al parque"* estará cerca del vector de *"el can se dirigió a la zona verde"*, aunque las palabras sean distintas. Esta capacidad de capturar significado contextual ha desplazado al enfoque LSI. A continuación, se presenta el flujo típico de procesamiento de texto para la generación de *embeddings*, desde la lectura del corpus hasta la obtención de vectores numéricos:

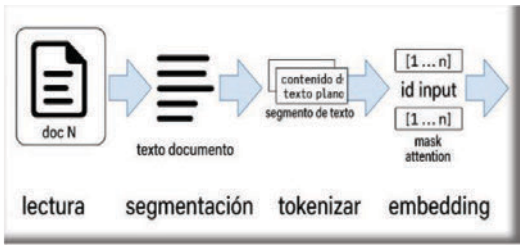



**Figura 4. Flujo de procesamiento de texto para generación de embeddings. Elaboración propia.**

Los embeddings permiten construir buscadores semánticos mucho más precisos, que recuperan la información por la intención detrás de la consulta, no por las palabras literales. Esto abre la puerta a sistemas de recuperación más intuitivos y potentes [11].

El paso lógico siguiente fue integrarlos con los modelos de lenguaje de gran escala. Mientras que los embeddings son altamente eficaces para representar el significado de textos y recuperar fragmentos relevantes, los LLMs destacan en tareas de comprensión, razonamiento y generación de texto coherente. Esta combinación dio origen a la arquitectura conocida como Retrieval-Augmented Generation [12].

En este modelo, la consulta del usuario se transforma en un vector que se utiliza para buscar los documentos más relevantes dentro de una base de datos vectorial, previamente construida a partir de los embeddings del corpus documental. Una vez recuperados los fragmentos pertinentes, estos se utilizan para contextualizar la consulta original, aportando información específica y actualizada. El modelo de lenguaje, en lugar de generar una respuesta basada únicamente en su conocimiento preentrenado -lo que puede derivar en errores o "alucinaciones"-, se apoya en los documentos recuperados como fuente primaria de información. Esto permite generar respuestas más precisas, relevantes y fundamentadas, lo cual es especialmente crítico en dominios como el jurídico o el científico [13].

Este modelo representa una evolución significativa, al unir la eficiencia de la búsqueda semántica con la capacidad generativa de los modelos de lenguaje más avanzados. Sin embargo, los LLMs presentan limitaciones importantes: su conocimiento está restringido a los datos con los que fueron entrenados y, en ocasiones, pueden generar respuestas incorrectas con alta confianza, fenómeno conocido como "*alucinaciones"*, entendidas como producciones textuales falsas o carentes de sentido. Estas pueden clasificarse en intrínsecas, cuando provienen del propio corpus de entrenamiento, y extrínsecas, cuando contradicen o no derivan lógicamente de él. Este fenómeno representa un desafío para la adopción de LLM en entornos productivos, ya que, aunque sus respuestas suenen plausibles, pueden inducir a errores graves en la toma de decisiones [14,15].

**2.2 Definición y arquitectura RAG.**

RAG es una técnica que combina dos capacidades fundamentales de los sistemas de inteligencia artificial:

- Por un lado, recupera información relevante desde una base documental, buscando fragmentos que estén relacionados con una consulta.
- Por otro, genera una respuesta utilizando un modelo de lenguaje que toma esos fragmentos como contexto.

En lugar de depender únicamente de lo que el modelo "recuerda" de su entrenamiento, RAG le permite acceder a información actualizada y específica, lo que mejora notablemente la precisión y la fundamentación de las respuestas. Esta combinación es especialmente útil en áreas como el derecho, donde las respuestas deben estar basadas en documentos concretos y ser coherentes con el lenguaje jurídico [12-13].

El uso de RAG ha demostrado ventajas claras en la mejora de la precisión, trazabilidad y actualización del conocimiento. En el caso de Vázquez Rivera [13], se destaca la integración de RAG en grupos de investigación, facilitando el acceso al know-how distribuido en wikis, presentaciones y documentos de divulgación. Esto permite que nuevos integrantes se familiaricen rápidamente con el conocimiento acumulado, sin necesidad de costosos procesos de reentrenamiento de modelos.

Por otro lado, el trabajo de Costa Reyes, Oscar [12], muestra la aplicación práctica de RAG en entornos industriales, como en CAF Signalling, donde el sistema se emplea para la capacitación técnica en infraestructuras ferroviarias críticas (ETCS). Allí, la combinación de recuperación documental y generación de texto demostró mejorar la resolución de dudas técnicas y la eficiencia en la formación de empleados. No obstante, también se identificaron desafíos importantes, como la dependencia de la calidad de las bases de datos documentales, la complejidad computacional y los sesgos presentes en los modelos.

Como se comentó, en el contexto del procesamiento de lenguaje natural, los *embeddings* son representaciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



matemáticas que transforman palabras, frases o documentos en vectores dentro de un espacio de alta dimensión. En este espacio, la proximidad entre vectores refleja similitudes semánticas, lo que permite identificar textos con significados similares, aunque no compartan las mismas palabras de forma exacta [16].

Este enfoque desplazó a técnicas tradicionales como el *one-hot encoding*[8], limitadas para capturar relaciones semánticas. Con la llegada de modelos como Word2Vec, GloVe y FastText, se entrenaron redes neuronales capaces de aprender patrones de coocurrencia en grandes corpus, generando representaciones más densas y expresivas. Estos embeddings permiten representar de manera simultánea aspectos semánticos (significado de las palabras en contexto) y sintácticos (su función dentro de la oración), lo que constituye un salto cualitativo frente a los enfoques anteriores. A continuación, se describen brevemente algunos de los modelos más influyentes en esta evolución:

- Word2Vec: Introduce dos arquitecturas principales para entrenar embeddings. *Continuous Bag-of-Words (CBOW)* predice una palabra a partir de su contexto, mientras que *Skip-gram* realiza la tarea inversa, prediciendo el contexto a partir de una palabra central [17].
- GloVe (Global Vectors for Word Representation): Se basa en estadísticas globales de coocurrencia de palabras, capturando relaciones semánticas a partir de la frecuencia con la que aparecen juntas en el corpus [18].
- FastText: Extiende Word2Vec al descomponer palabras en sub-palabras o *n-gramas* de caracteres, lo que le permite manejar términos fuera de vocabulario (OOV) y representar mejor la morfología [19].

Actualmente, los embeddings constituyen un componente esencial en el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN). Su capacidad para representar significado semántico y sintáctico los convierte en la base de numerosas aplicaciones, entre ellas: traducción automática, análisis de sentimientos, reconocimiento de entidades y clasificación de textos.

Este avance ha sido evaluado en contextos reales. Martínez Vidal et al. [16] realizaron una evaluación comparativa de modelos LLMs y técnicas de indexación vectorial aplicadas a la búsqueda semántica en ArXiv[9], destacando el impacto de la arquitectura RAG en la precisión de recuperación en corpus científicos. Su estudio refuerza la relevancia de combinar representaciones vectoriales con mecanismos de recuperación contextualizada para mejorar la calidad de las respuestas generadas por sistemas inteligentes.

## 3. Tecnologías utilizadas

La implementación del prototipo propuesto de un sistema RAG para expedientes pertenecientes a UNLaM se basó en una arquitectura local que prioriza la privacidad, la eficiencia y la escalabilidad. Esta arquitectura combina tres tecnologías principales: OLLama, .NET 8 y ONNX Runtime, cada una con un rol fundamental en el proceso. El desarrollo se apoyó en la guía técnica publicada por Toolify.ai [20], que detalla paso a paso cómo construir aplicaciones RAG locales utilizando estas herramientas.

OLLama es una plataforma de ejecución local de modelos de lenguaje de gran escala (LLMs), diseñada para facilitar el despliegue y uso de inteligencia artificial directamente en dispositivos del usuario, sin necesidad de conexión a servidores externos. Su arquitectura permite cargar modelos como Mistral-7B, CodeLlama o Llama3 en memoria local, utilizando el puerto 11434 para la comunicación entre aplicaciones. Esta característica lo convierte en una herramienta altamente personalizable y segura, ideal para entornos donde la privacidad de los datos es crítica, como en sistemas industriales o educativos [21,22 y 23].

En el trabajo de Choi y Jeong [24], Ollama se integra como componente clave en una arquitectura RAG especializada para entornos MES (Manufacturing Execution Systems). Allí, Ollama permite ejecutar modelos localmente para procesar consultas en lenguaje natural, generar SQL[10], y acceder a bases de datos vectoriales y relacionales sin exponer datos sensibles a servicios en la nube. Esta implementación demuestra cómo Ollama puede ser adaptado a contextos industriales complejos, con requerimientos de alta disponibilidad, procesamiento en tiempo real y cumplimiento normativo.

Por otro lado, el estudio de Kivimäki [25] evalúa la usabilidad de Ollama en entornos domésticos y pequeñas empresas. Se destaca su facilidad de instalación, compatibilidad con múltiples sistemas operativos (Windows, Linux, macOS), y su capacidad para funcionar como servidor local, permitiendo que otros dispositivos accedan al modelo cargado. Además, se resalta su rol en la democratización de la IA, al ofrecer una alternativa abierta y controlada frente a los modelos alojados en la nube, que suelen generar preocupaciones sobre privacidad y uso de datos.

Ambos trabajos coinciden en que Ollama representa una solución robusta para ejecutar LLMs de forma local, con ventajas claras en términos de seguridad, flexibilidad y adaptabilidad. Su uso se extiende desde aplicaciones industriales con procesamiento de datos en tiempo real, hasta entornos educativos y personales donde la autonomía y el control del usuario son prioritarios.

[8] Es una técnica usada en machine learning y procesamiento de datos para representar variables categóricas (texto, etiquetas, clases) como vectores numéricos binarios.

[9] https://arxiv.org

[10] SQL significa *Structured Query Language*, o *Lenguaje de Consulta Estructurado*. Es un lenguaje estándar utilizado para gestionar y manipular bases de datos relacionales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ONNX Runtime funciona como el motor de inferencia, permitiendo la ejecución de modelos preentrenados de manera eficiente y con baja latencia en múltiples plataformas. Al utilizar el estándar abierto ONNX (Open Neural Network Exchange), se garantiza la interoperabilidad entre diferentes frameworks de aprendizaje automático [26]. Esta flexibilidad es clave para aplicaciones que requieren un alto rendimiento y preservación de la privacidad, como las que gestionan documentación de expedientes.

Finalmente, .NET 8 proporciona el entorno de desarrollo robusto y multiplataforma necesario para construir y gestionar la aplicación. Su compatibilidad con sistemas operativos como Windows, Linux y macOS y su integración con bibliotecas de IA lo hacen ideal para construir soluciones escalables y seguras.

La elección de .NET 8 como framework de desarrollo responde a que se trata de la versión más reciente con soporte a largo plazo (LTS), lanzada en noviembre de 2023 y con mantenimiento garantizado hasta noviembre de 2026. Esta versión introduce mejoras significativas en rendimiento gracias a la optimización del compilador Just-In-Time (JIT), la compilación Ahead-of-Time (AOT), la incorporación de *Profile-Guided Optimization* (PGO) habilitada por defecto y un mejor aprovechamiento de instrucciones SIMD y AVX-512 en arquitecturas modernas. Asimismo, integra el lenguaje C# 12, que aporta nuevas funcionalidades orientadas a simplificar la sintaxis y mejorar la productividad. En el ámbito del desarrollo web, .NET 8 incorpora avances relevantes en ASP.NET Core y Blazor, como el modelo de renderizado híbrido “Interactive Auto” y el componente QuickGrid, que ya no es experimental y permite manejar grandes volúmenes de datos con paginación y filtrado eficientes. Finalmente, presenta .NET Aspire, un nuevo stack orientado a aplicaciones *cloud-native*, que facilita la orquestación y observabilidad de microservicios [27-28]

La sinergia entre estas tecnologías permite construir un sistema RAG local, seguro y eficiente, capaz de recuperar información relevante y generar respuestas contextualizadas sin comprometer la confidencialidad de los datos.

## 4. Metodología e Implementación del Prototipo

El prototipo desarrollado se diseñó para validar la viabilidad de un sistema RAG en un entorno local, priorizando la privacidad y la eficiencia en el tratamiento de documentación jurídica. El flujo de trabajo se estructura en cuatro fases, con una serie de pasos que implican distintas transformaciones sobre los datos:

**1. Ingesta y preprocesamiento de documentos**

Los documentos jurídicos en texto plano son explorados desde una carpeta local, y se los preprocesa para descartar caracteres y partes no significativas (espacios en blanco y encabezados). Luego se realiza la tokenización y se segmenta en fragmentos de tamaño controlado, preservando a su vez la relación entre texto original y los tokens previstos para el embedding.

### 1.1. Preprocesamiento

En los documentos presentes en el corpus utilizado aparecían numerosos espacios en blanco, algunas partes con palabras faltantes o previstas para escribir a mano y secciones de encabezado y pie de pagina que no hacen al significado o semántica del documento u oraciones en sí. Por ello optamos por descartarlos y así reducir el volumen de caracteres. Para lograrlo hicimos uso de los métodos provistos por la clase Regex de .NET, que mediante expresiones regulares realiza la búsqueda y reemplazo sobre el texto.

### 1.2. Tokenización

Este proceso consiste en identificar las coincidencias exactas o parciales entre las secuencias de caracteres del texto de entrada con el vocabulario del modelo y generar un listado de índices. Este paso es indispensable para que el embedding opere estrictamente con números, que en verdad reflejan a cuál token del vocabulario se refiere dicho índice. El proceso está abarcado en la librería Microsoft.ML y requiere como entrada el texto a convertir y el archivo de vocabulario, el cual debe acompañar al modelo de embedding. En el caso implementado usamos el archivo vocab.txt correspondiente al modelo y nos permite generar 2 vectores de enteros denominados inputIds y attentionMask.

### 1.3. Segmentación

Dado que se trata de textos extensos y pueden tratarse varias cuestiones en cada uno de ellos, es entendible que en distintos bloques de un escrito se encuentre significados diferentes en las oraciones, complicando la indexación semántica. A su vez el modelo elegido cuenta con una capacidad máxima para la entrada de 128 tokens. Ambas cuestiones nos llevan a la necesitada y conveniencia de segmentar antes de pasar al proceso de embedding, optando en esta implementación en separar en segmentos por documento y por grupos de oraciones un máximo de 128 tokens. Este enfoque permite que se conserve lo más posible las oraciones completas y el significado de estas para el próximo proceso.

**2. Generación de embeddings**

Este proceso se logra mediante la ejecución de un modelo de red neuronal compatible con los tokens de entrada. Los modelos en formato ONNX son compatibles con las herramientas usadas, a la vez que se toma el archivo de vocabulario que compaña tal modelo para la tokenización previa. Bajo el modo *sentence_embedding*, cada segmento se transforma en un vector denso que captura su significado semántico. Un vector denso es una estructura matemática que representa datos en forma de una lista de números, donde todos los elementos están explícitamente definidos, incluso si algunos son ceros Ej. [0.5, 0.0, 1.2, 3.4, 0.0, 0.0, 2.1].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esta transformación se representa en la Figura 4 denotando la reducción de un texto extenso a una serie de vectores semánticos.

### 2.1. Modelo

Se hizo uso del modelo distiluse-es-legal-balanced-onnx[11], de acceso público y uso liberado acorde a licencia apache 2.0[12], descargado desde el sitio HuggingFace. Este es un modelo sentence-transformers fine-tuneado a partir de distiluse-base-multilingual-cased-v2[13], exportado a formato ONNX y cuantizado para una inferencia más eficiente. Está preparado para mapear oraciones y párrafos a un espacio vectorial denso de 512 dimensiones en idioma español.

El mismo es desarrollado en base a distiluse-base-multilingual-cased-v2, que a su vez deviene de Sentence-BERT, una serie de modelos con raíz en BERT que generan embedding acorde a la representación semántica de una oración. El modelo padre fue preparado para el contexto legal y formato ONNX, y el modelo derivado que utilizamos en el proyecto está refinado y optimizado para textos en español. Por eso se logra un archivo de vocabulario más sintético y una red neuronal simplificada en el archivo ONNX, traducido en una reducción significado de peso en disco (de 539MB a 136MB, 25% del anterior) y por ende menor demanda de recursos.

### 2.2. Ejecución

La ejecución se realiza mediante bibliotecas desarrolladas en C# para .NET 8.0 en adelante. La clase InferenceSession del paquete Microsoft.ML.OnnxRuntime, disponible en nuget.org, fuente principal de bibliotecas para .NET.

La misma es desarrollada por Microsoft y afirma lograr una ejecución eficiente de los modelos usados, aprovechando los recursos locales disponibles. El modelo empleado toma dos parámetros de entrada: input_ids y attention_mask, que resultan de la tokenización basada en el archivo vocab.txt. Este modelo admite un máximo de 128 tokens por entrada y genera 2 salidas dependientes: last_hidden_state, un embedding por cada token, generando un vector de 98.304 posiciones (128 × 768), y sentence_embedding, acorde al sentido semántico de la oración, que genera un vector de 512 posiciones. Aunque es el vector de la segunda salida el que tomamos para indexar el segmento de texto, no es posible omitir la generación del primero ya que es parte sustancial para el proceso interno de la red neuronal del modelo.

En la Figura 5 se ve la representación del nodo de salida utilizado y los parámetros del modelo, mientras que en la Figura 6 el código que hace uso de ese mismo modelo.

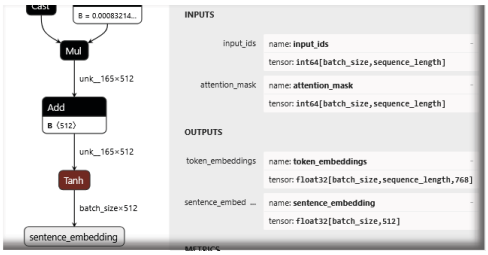



**Figura 5: representación en grafo y parámetros de la red neuronal en archivo ONNX**



**Figura 6: bloque de codigo C# para proceso de embedding usando ONNX**

## 3. Indexación y almacenamiento

Los embeddings generados se vinculan a sus respectivos fragmentos de texto y se almacenan para su posterior uso en comparaciones y recuperación. En la Figura 7 se puede ver la secuencia de pasos hasta lograr la indexación. Implementamos el almacenamiento en dos modalidades:

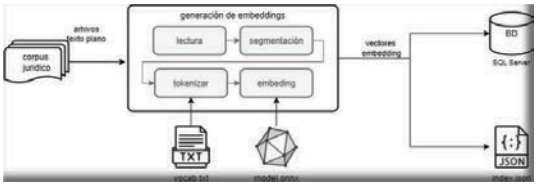



**Figura 7: flujo del proceso de indexación**

### 3.1. Archivo JSON

De formato altamente flexible y estructura semejante a la usada en las clases y variables de en la programación. Su uso es de lo más transparente para lectura y escritura, lo cual nos permite probar cambios veloces y una portabilidad total entre versiones. A pesar de ello, su almacenamiento en archivos no es tan eficiente para grandes volúmenes, aunque también puede implementarse en bases de datos No Sql[14] [29]. Para este proyecto usamos archivos JSON, ver Figura 8, para prototipos iniciales con una indexación liviana y pruebas rápidas antes de escalar en volumen.

[11] Modelo luiggy2620/distiluse-es-legal-balanced-onnx disponible en https://huggingface.co/luiggy2620/distiluse-es-legal-balanced-onnx

[12] La licencia Apache 2.0 admite el uso del software para los propósitos de la actual investigación, como detalla en https://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0

[13] Modelo sentence-transformers/distiluse-base-multilingual-cased-v2 disponible en https://huggingface.co/sentence-transformers/distiluse-base-multilingual-cased-v2

[14] NoSQL (Not Only SQL), también conocidas como Bases de Datos No Relacionales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**Figura 8: extracto de archivo index.json con embedding y segmentos**

### 3.2. Base de datos SQL

Usamos el gestor de base datos SQL Server 2025 Preview[15], que incorpora soporte nativo para campos de tipo vectoriales y operaciones con ellos. Aunque la estructura del embedding puede emularse como JSON y almacenarse en SQL de forma efectiva, este tipo de dato vectorial incluye optimización para búsqueda de similitud, conversiones y permite estructurar mejor los datos. Con esta capa, es posible comparar embeddings y recuperar los fragmentos de texto desde una misma consulta de SQL, derivando esta labor al motor de base de datos en vez que sobre el programa. En la Figura 9 se ejemplifica la creación de una tabla con el tipo de dato vector y la busqueda por similitud.

```
CREATE TABLE SegmentoDoc (
    Id INT PRIMARY KEY IDENTITY,
    Documento NVARCHAR(255),
    Segmento INT,
    Texto NVARCHAR(MAX),
    Embedding VECTOR(512)  -- vector de 512 dimensiones
);

DECLARE @query VECTOR(512) = '[0.123, 0.456, ...]'

SELECT TOP 5 *
FROM SegmentoDoc
ORDER BY VECTOR_DISTANCE('cosine', Embedding, @query) ASC;
```

**Figura 9: ejemplo de uso de tipo de dato vector en SQL**

## 4. Recuperación y generación de respuestas

Ante una consulta, se obtiene su embedding y se ejecuta una búsqueda top-k contra los vectores almacenados. Los segmentos más cercanos se integran en un prompt que, junto con la consulta original, se envía a un modelo de lenguaje (LLM) ejecutado en OLLama de forma local. Esto asegura respuestas contextualizadas, coherentes y seguras, adaptadas al dominio jurídico.

### 4.1. Recuperación

Tomando la consulta a responder se genera un embedding y las mismas características de los ya segmentos ya indexados. Con el mismo se realiza una búsqueda por similitud entre los vectores y se consideraras algunos de ellos para dar contexto a la consulta. La comparación se realiza por distancia de coseno, dando un valor más cercano a 0 para los más semejantes. El criterio empleado en la implementación es el de tomar los primeros 5 segmentos más similares, pero puede configurarse para considera todos los que superen un piso de similitud.

### 4.2. Generación de prompt

Con los segmentos más relevantes ya determinados se procede a tomar el contenido textual de ellos, que servirán de contexto para la generación de la respuesta. El prompt es la entrada de texto que recibirá el LLM y debe ser extremadamente claro para lograr un resultado acorde. Por ello en este mismo deben conjugarse la intención del usuario y tareas a realizar, el contexto que debe considerar, el formato de la respuesta esperada, y la consulta planteada por el usuario.

### 4.3. Uso de LLM

Con el prompt ya refinado y contextualizado es momento de iniciar la inferencia. En la implementación actual se utiliza un LLM a través del gestor Ollama. El gestor se maneja en un proceso separado e independiente que ofrece una interfaz de api en formato JSON. La comunicación con nuestra aplicación es mediante el paquete OllamaSharp[16], el cual admite uso de distintos modelos, servidor local o de red, y carga progresiva (modo stream) para mostrar la respuesta a medida que el LLM aún lo está generando. En la Figura 10 se aprecia como es la secuencia de pasos para desde la consulta hasta la respuesta al usuario.

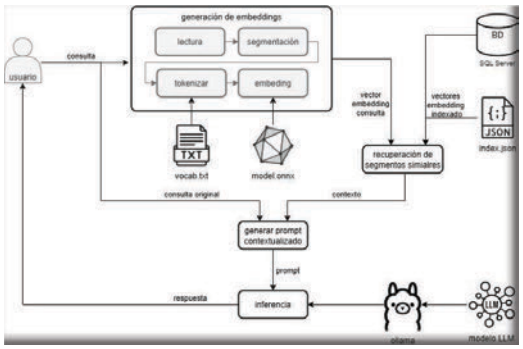



**Figura 10: flujo del proceso de consulta RAG**

### 1.1. Modelo LLM

El modelo utilizado debe tener capacidad de **generación de texto (text-generation)** a partir de entradas diseñadas como instrucciones, es decir, debe poder **seguir indicaciones explícitas** dadas en el prompt. En las pruebas iniciales se empleó el modelo **LLaMA 3**, desarrollado por Meta, el cual acepta entradas de hasta **8K tokens** y requiere aproximadamente **4.7 GB** tanto en almacenamiento como en memoria RAM.

[15] https://www.microsoft.com/en-us/evalcenter/sql-server-2025-download

[16] https://www.nuget.org/packages/OllamaSharp

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La ejecución de este modelo implica una exigencia moderada para computadoras de escritorio modernas. Sin embargo, puede provocar demoras en otras tareas que esté realizando el equipo, por lo que se recomienda su ejecución en un equipo dedicado dentro de la red local, como se implementó en este trabajo.

En la Figura 11 se presenta una tabla comparativa con otros modelos LLM de características similares.

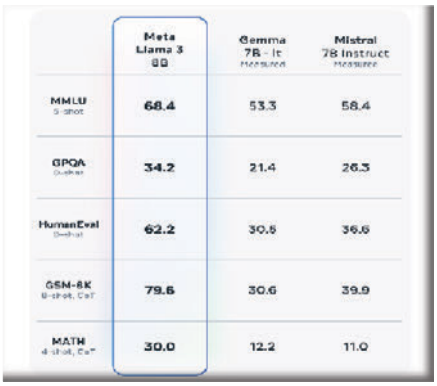



**Figura 10: comparativa del modelo LLM**

En conjunto, esta metodología permite un procesamiento eficiente del corpus legal, preservando la privacidad de los datos y habilitando consultas rápidas con fundamentación semántica. Los resultados preliminares muestran un equilibrio adecuado entre rendimiento, precisión y seguridad, confirmando la viabilidad del enfoque propuesto.

## 5. Resultados

La implementación con las tecnologías adoptadas resultó satisfactoria en cuanto a funcionalidad y rendimiento, y viable para llevarse a entornos productivos de mayor volumen. En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del prototipo. Se incluyen mediciones de rendimiento, precisión en la recuperación, impacto en la reducción de alucinaciones y comparativas entre diferentes configuraciones de almacenamiento e indexación.

### 5.1 Configuración experimental

Los experimentos se ejecutaron en un entorno controlado cuya configuración se resume en la Tabla 1. Este detalle permite la reproducibilidad y facilita la comparación con futuros trabajos. Dicha configuración se corresponde a un servidor de capacidad y rendimiento moderado que concuerda con los equipos disponibles en los ámbitos a los cuales se destinaría el sistema.

**Tabla 1.** Entorno de ejecución de los experimentos.

| Componente | Especificación |
|---|---|
| CPU | Intel(R) Xeon(R) Gold 6252 |
| RAM | 32 GB |
| GPU | NVIDIA RTX 3060 |
| Almacenamiento | SSD 1 TB |
| Sistema Operativo | Windows Server 2022 |
| Motor de BD | SQL Server 2025 Preview |
| Librerías Embeddings | ONNX Runtime 1.16 + distiluse-es-legal |
| Servidor LLM | Ollama 3.1 + LLaMA 3 8B |

### 5.2 Evaluación de la indexación

Se comparó el proceso de indexado de embeddings en dos configuraciones: almacenamiento en formato JSON y almacenamiento en SQL Server 2025 con soporte nativo para vectores. Los resultados se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2. Comparativa de indexación**

| Configuración | Archivos | Segmentos | Tiempo (s) | Tamaño en disco (MB) |
|---|---|---|---|---|
| JSON + embeddings | 99 | 3.096 | 60.9 ± 2.3 | 31.6 ± 0.5 |
| SQL Server (vector) | 1.500 | 41.320 | 526.3 ± 15 | 200 ± 5 |

Los valores reportados corresponden a la media de 5 corridas con su desviación estándar. Se observa que el almacenamiento nativo en SQL Server presenta mayor tiempo de indexado y uso de disco, pero permite consultas vectoriales optimizadas en la misma base.

### 5.3 Rendimiento en consulta

El tiempo de respuesta total se desagregó en sus principales componentes: generación del *embedding* de la consulta, búsqueda *top-k*, construcción del *prompt* y generación de la salida por el LLM. En este contexto, la **latencia** se entiende como el tiempo que transcurre desde que el sistema recibe una consulta hasta que entrega la respuesta completa. Para caracterizar mejor el rendimiento, además del promedio se reportan los percentiles 95 (p95) y 99 (p99), que muestran los tiempos máximos en los que respondieron el 95% y el 99% de las consultas respectivamente. Esto permite reflejar no solo el desempeño típico, sino también los casos más lentos que impactan en la experiencia del usuario. La Tabla 3ilustra la distribución promedio.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 3. Latencias promedio por componente de consulta**

| Etapa | Latencia Media (ms) | p95 (ms) | p99 (ms) |
|---|---|---|---|
| Embedding consulta | 210 | 260 | 310 |
| Búsqueda top-k (SQL) | 45 | 60 | 80 |
| Construcción de prompt | 120 | 150 | 200 |
| Generación LLM | 3.400 | 4.100 | 4.800 |
| **Total** | **3.775** | **4.570** | **5.390** |

En promedio, las consultas se resolvieron en 3–5 segundos, con variaciones según la complejidad de la respuesta generada.

### 5.4 Precisión en recuperación

Para evaluar la calidad de la recuperación se construyó un conjunto de 200 consultas de prueba, representativas de preguntas reales en el ámbito jurídico. Cada consulta se ejecutó contra el sistema y los resultados obtenidos fueron revisados manualmente por dos jueces expertos en el dominio, quienes determinaron cuáles documentos recuperados eran realmente relevantes. A partir de estas anotaciones se calcularon métricas estándar en sistemas de búsqueda:

- **Precisión en el primer resultado (P@1):** indica la proporción de consultas en las que el primer documento recuperado fue relevante.
- **Precisión en los cinco primeros (P@5):** mide qué porcentaje de los cinco primeros resultados corresponden a documentos relevantes.
- **Mean Reciprocal Rank (MRR):** refleja en promedio qué tan arriba aparece el primer documento correcto en la lista de resultados.
- **NDCG** significa **Normalized Discounted Cumulative Gain**, y es una métrica usada en sistemas de recuperación de información (como buscadores o RAGs) para evaluar **la calidad del ranking de los resultados**.

Estas métricas permiten comparar objetivamente diferentes configuraciones del sistema y estimar la capacidad real de recuperación en escenarios prácticos. La Tabla 4 ilustra la distribución promedio.

**Tabla 4. Métricas de recuperación**

| Método | P@1 | P@5 | MRR | NDCG @10 |
|---|---|---|---|---|
| BM25 (baseline) | 0.41 | 0.56 | 0.48 | 0.60 |
| Embeddings (JSON) | 0.62 | 0.75 | 0.68 | 0.77 |
| Embeddings (SQL Server) | 0.64 | 0.78 | 0.70 | 0.80 |

Los resultados muestran una mejora significativa respecto al baseline BM25, y un desempeño ligeramente superior al usar el motor vectorial nativo de SQL Server.

### 5.5 Evaluación de alucinaciones

Con el fin de medir la factualidad de las respuestas generadas por el modelo, se diseñó un experimento con 100 consultas de prueba. La factualidad mide cuánto se ajustan las respuestas a los hechos reales y verificables en las fuentes de información. Cada consulta fue respondida por el LLM en dos configuraciones: sin acceso al módulo RAG (solo con su conocimiento interno) y con acceso al módulo RAG (recuperando fragmentos relevantes de la base).

Posteriormente, tres jueces con experiencia en el dominio jurídico evaluaron cada respuesta y la clasificaron en una de tres categorías:

- **Correcta:** la respuesta coincide con la evidencia recuperada y no contiene errores de hecho.
- **Incorrecta/Alucinación:** la respuesta incluye información inventada, no respaldada por las fuentes.
- **Ambigua:** la respuesta es incompleta o demasiado vaga para ser considerada confiable.

Para validar la consistencia entre evaluadores se calculó el índice de concordancia de Cohen (κ), que resultó en un valor de 0,71, lo cual se interpreta como un nivel de acuerdo sustancial entre jueces. Este resultado aporta solidez a la evaluación y asegura que las conclusiones sobre la reducción de alucinaciones no dependen de un único criterio subjetivo. La siguiente tabla muestra esa tasa.

**Tabla 5. Tasa de alucinaciones**

| Configuración | Correctas | Ambiguas | Alucinaciones |
|---|---|---|---|
| LLM sin RAG | 52% | 14% | 34% |
| LLM con RAG (SQL) | 74% | 16% | 10% |

El uso de recuperación con embeddings redujo las alucinaciones en un 70% relativo respecto al modelo base.

## 6. Discusión

Los experimentos evidencian que:

- El almacenamiento vectorial nativo en SQL Server mejora ligeramente la precisión y simplifica el pipeline, aunque implica mayores tiempos de indexación inicial.
- El tiempo total de respuesta se mantiene dentro de un rango aceptable (3–5 s), siendo la generación del LLM el principal cuello de botella.
- La reducción de alucinaciones es sustancial, confirmando que la integración RAG aporta un valor crítico en entornos donde la exactitud es prioritaria.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Futuras optimizaciones deberán enfocarse en la reducción de latencias en la etapa de generación y en la escalabilidad para corpus mayores.

A pesar de que la implementación local resultó exitosa, el rendimiento podría ser superior si se recurriera a servidores especializados. No obstante, esto podría comprometer la privacidad y el control sobre los datos, aunque existen servicios que ofrecen garantías en estos aspectos, con esquemas de costos que deben evaluarse cuidadosamente.

En comparación con soluciones cloud y propietarias, el enfoque local ofrece mayor autonomía, seguridad y control, pero enfrenta desafíos en términos de mantenimiento, actualización y acceso a modelos de última generación.

Si bien la mayoría de los sistemas RAG actuales se desarrollan en Python, aprovechando su ecosistema de bibliotecas especializadas como HuggingFace, LangChain y FAISS, esta implementación en .NET representa una alternativa sólida y estratégica. Al estar basada en tecnologías ampliamente utilizadas en entornos corporativos y educativos, como .NET y WinForms, se facilita la migración desde sistemas preexistentes sin necesidad de adoptar un stack tecnológico completamente nuevo.

El uso de WinForms para la interfaz gráfica aporta una ventaja significativa en términos de experiencia de usuario. En comparación con muchas de las interfaces disponibles en Python, que suelen requerir configuraciones adicionales o presentan limitaciones en diseño visual, WinForms ofrece una solución más clara, intuitiva y familiar para usuarios de Windows.

Finalmente, se destacan las implicancias para la digitalización de la justicia. Sistemas como el propuesto pueden acelerar la consulta de expedientes, mejorar la trazabilidad de decisiones y facilitar el acceso a información relevante.

## 7. Conclusiones y Trabajo Futuro

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad de un sistema RAG local para el análisis de expedientes judiciales. La arquitectura implementada logra un equilibrio entre rendimiento, precisión y seguridad, y se adapta a las necesidades de instituciones que priorizan el control sobre sus datos.

La mayoría de las implementaciones de sistemas RAG en la literatura y en entornos productivos se desarrollan utilizando el ecosistema Python. Sin embargo, esta propuesta se distingue por estar construida íntegramente sobre la plataforma .NET, lo que representa una ventaja estratégica para instituciones y desarrolladores que ya operan con tecnologías de Microsoft. Al tratarse de una evolución natural dentro del mismo entorno tecnológico, la adopción del sistema no implica una ruptura con los sistemas preexistentes, sino una extensión funcional que reutiliza conocimientos, herramientas y prácticas ya consolidadas.

El trabajo realizado también evidencia el potencial de integración entre sistemas expertos y modelos de lenguaje, permitiendo construir soluciones híbridas que combinan conocimiento estructurado con capacidades de comprensión y generación textual. Esta sinergia abre nuevas posibilidades para el desarrollo de herramientas inteligentes en el ámbito jurídico.

Como próximos pasos, se propone avanzar en tres líneas principales:

- La comparación e integración con bases vectoriales especializadas como Milvus o Pinecone, respecto a SQL Server 2025. Encontrar cual permitiría mejorar la eficiencia en la recuperación semántica conservando la flexibilidad necesaria.
- La incorporación de técnicas avanzadas de indexación como niveles jerárquicos de k-means para búsqueda de embedding semánticos y similares, para optimizar la eficiencia en corpus más voluminosos.
- La evaluación con jueces y operadores reales, para validar la utilidad del sistema en escenarios concretos y recoger retroalimentación sobre su desempeño.
- Adaptar el sistema a arquitecturas más sofisticadas, que incluyan interacción con LLM para reevaluación de respuestas o búsqueda de conceptos clave.
- La integración en el sistema experto Experticia o semejantes, para agregar funcionalidad en cuanto a trazabilidad y fundamentación en los escritos judiciales, apuntando a los usuarios de los entornos judiciales y administrativos.

## Referencias

1. Ryckeboer, H., Bossero, J., Spositto, O., & Matteo, L. (2018). Recuperación de información acelerada con algoritmos de minería de datos. En Actas de resúmenes del V Congreso Internacional de Educadores en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería, ECEFI 2018 y Segundo Foro Internacional sobre Creatividad, Investigación y Lógica Transcursiva. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. ISBN 978-950-42-0191-5.
2. Spositto, O., Bossero, J., Moreno, E., Ledesma, V., & Matteo, L. (2022). Lexical analysis using regular expressions for information retrieval from a legal corpus. En P. Pesado & G. Gil (Eds.), Computer Science – CACIC 2021 (Vol. 1584). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05903-2_21
3. Suárez, A. H. (2024). Sistema de búsqueda inteligente aplicando Retrieval-Augmented Generation (RAG) [Trabajo de fin de máster, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/83447/1/tfm_adrian_hernandez_suarez.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



4. Salton, G., Wong, A., & Yang, C. S. (1975). Vector space model for information retrieval. Communications of the ACM, 18(11), 613–620. https://doi.org/10.1145/361219.361220
5. Larson, R. (2013). Fundamentos de álgebra lineal (7ª ed.). ISBN 978-607-519-803-3
6. Spositto, O., Ryckeboer, H., Bossero, J., Ledesma, V., Moreno, E., & Matteo, L. (2022). Adecuación de un sistema de recuperación de información para su utilización en un contexto jurídico. WICC 2022, Universidad Champagnat, Argentina.
7. Kowalski, G. (2017). Information retrieval systems: Theory and implementation (1st ed.). Kluwer Academic Publishers.
8. Bordignon, F., & Tolosa Chacón, G. (2007). Recuperación de información: un área de investigación en crecimiento. Ciencias de la Información, 38(1-2), 13–24. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181414865002
9. Spositto, O., Ledesma, V., Procopio, G., & Ryckeboer, H. (2020). Hacia la optimización de un sistema de recuperación de información. En Actas del XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2020) (pp. 738–742). El Calafate, Santa Cruz. ISBN 978-987-3714-82-5
10. Spositto, O., Ledesma, V., & Procopio, G. (2019). Aplicación de la descomposición de valores singulares a un sistema de recuperación de información. REDDI, Revista Digital del Departamento de Ingeniería (UNLaM), 2(4). ISSN: 2525-1333
11. Chen, H., Perozzi, B., Al-Rfou, R., & Skiena, S. (2018). A tutorial on network embeddings. arXiv preprint arXiv:1808.02590.
12. Costa Reyes, O. (2024). Análisis y mejora de sistemas de recuperación de información mediante redes neuronales y arquitectura RAG: Un estudio sobre el sistema de control ferroviario europeo. https://zaguan.unizar.es/record/152372/files/TAZ-TFM-2024-1260.pdf
13. Rivera, J. V. (2025). Sistema de recuperación de información sobre wikis utilizando técnicas RAG e IAs generativas. https://oa.upm.es/89959/1/tfg_jaime_vazquez_rivera.pdf
14. Correa Busquets, S., & Maccarini Llorens, L. (2023). Autosupervisión de alucinaciones en grandes modelos del lenguaje: LLteaM. Journal of Computer-Assisted Linguistic Research, 7, 60–85. https://doi.org/10.4995/jclr.2023.20408
15. Torres, D. L. G., & Santa Quintero, R. A. (2025). Generación y recuperación de información contextualizada: Un enfoque avanzado basado en RAG para el procesamiento del lenguaje natural. Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, 12(23). https://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/1122/765
16. Martínez Vidal, C. S., Quintana Romero, K. S., & Hortua Orjuela, H. J. (2024). Optimizando la búsqueda semántica en ArXiv: evaluación de modelos LLMs y herramientas de indexación vectorial. https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/f2a83f51-d560-473a-ab15-e910121c3fdf/content
17. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781.
18. Pennington, J., Socher, R., & Manning, C. D. (2014). Glove: Global vectors for word representation. En Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP) (pp. 1532–1543).
19. Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2017). Enriching word vectors with subword information. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 5, 135–146.
20. *Local AI Models with Ollama & .NET: A Step-by-Step RAG Guide*. Toolify.ai. Disponible en: https://www.toolify.ai/ai-news/local-ai-models-with-ollama-net-a-stepbystep-rag-guide-3433219.
21. Adhikary, J. (2025). How to use Ollama API to run LLMs and generate responses. Built In. https://builtin.com/articles/ollama-api?utmsource=chatgpt.com
22. Thoughtbot. (2025). How to use an open source LLM model locally and remotely. Thoughtbot Blog. https://thoughtbot.com/blog/how-to-use-open-source-LLM-model-locally?utm_source=chatgpt.com
23. Usuario de Reddit (boston101). (2025). Comentario sobre el puerto 11434 y su relación con "OLLAMA" en leetspeak. Reddit. https://www.reddit.com/r/ollama/comments/1ilq95h/why_does_ollama_use_the_port_11434_as_the_default/?utm_source=chatgpt.com
24. Choi, H., & Jeong, J. (2025). Domain-specific manufacturing analytics framework: An integrated architecture with retrieval-augmented generation and Ollama-based models for manufacturing execution systems environments. Processes, 13(3), 670. https://www.mdpi.com/2227-9717/13/3/670
25. Kivimäki, T. (2025). Usability evaluation of the local large language models. https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/182260/Kivimaki_Teemu_opinnayte.pdf?sequence=1
26. ONNX Runtime. (2025). Welcome to ONNX Runtime. https://onnxruntime.ai/docs/
27. Microsoft. (2023). What's new in .NET 8. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/core/whats-new/dotnet-8/overview
28. Syncfusion. (2023, noviembre 15). What's new in .NET 8 for developers. Syncfusion Blogs. https://www.syncfusion.com/blogs/post/whats-new-dot-net-8-for-developers
29. Aguilar Vera, Raúl, Naal Jácome, Andrés, Díaz Mendoza, Julio, & Gómez Gómez, Omar. (2023). NoSQL Database Modeling and Management: A Systematic Literature Review. Revista Facultad de Ingeniería, 32(65), e7. Epub January 13, 2024.https://doi.org/10.19053/01211129.v32.n65.2023.16519

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Segmentación de Normativas Universitaria a partir de Documentos Escaneados: Resultados Preliminares y Desafíos

*Sebastián Trossero[1] – María Daniela López de Luise[2] – Andrés Pascal[13] – Claudia Alvarez[1]*

*[1]Facultad de Ciencia y Tecnología – Universidad Autónoma de Entre Ríos*
*[2] CI2S Lab*
*[3]Facultad Regional Concepción del Uruguay - Universidad Tecnológica Nacional*
*trossero.sebastian@uader.edu.ar - mdldl@ci2s.com.ar - andrespascal2003@yahoo.com.ar – claudialvarez2000@gmail.com*

## Resumen

*Este artículo presenta un procedimiento para procesar automáticamente documentos normativos escaneados y convertirlos en texto utilizable para etapas posteriores de análisis. El objetivo es superar las limitaciones de los archivos PDF sin texto embebido, incorporando reconocimiento automático de caracteres (OCR) que habilite la aplicación del proceso de segmentación documental del chatbot PTAH. Se realizaron pruebas con un conjunto de 20 documentos universitarios (10 resoluciones y 10 ordenanzas), evaluando la calidad del texto generado y su impacto en las fases iniciales de tipificación y detección de secciones normativas. Los resultados muestran que, si bien el 85% de los documentos presentó ruido visual y la totalidad evidenció saltos de línea indeseados, el sistema logró clasificar correctamente todos los documentos y detectar adecuadamente las primeras etiquetas en el 75% de los casos.*

## 1. Introducción

Desde comienzos de la década de 1950, el ser humano ha buscado construir sistemas de Inteligencia Artificial, dando lugar a múltiples ramas de la Inteligencia Computacional que expanden aquel propósito inicial. A lo largo de las décadas, cientos de científicos han contribuido a este campo de diversas maneras, desarrollando enfoques inspirados en distintos tipos de inteligencia observados en la naturaleza.

En el ámbito del lenguaje, los avances más significativos se han dado en el Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP), donde el análisis se organiza en distintos niveles —fonología, morfología, sintaxis, semántica y pragmática— que permiten descomponer el problema original con distintos grados de complejidad y éxito [1, 2].

El desarrollo de frameworks y plataformas [3, 4, 5], ontologías [6], heurísticas [7, 8], lenguajes, corpus, diccionarios e interfaces ha conformado un ecosistema amplio de herramientas, con diferentes niveles de disponibilidad y aplicabilidad. En este contexto, el proyecto actual gestiona su propio corpus, construido a partir de un conjunto de normativas universitarias, que originalmente se encuentran en formato escaneado y convertido a PDF o en documentos de texto, y que deben ser transformados al formato requerido por el corpus [7]. Sobre este corpus se han desarrollado heurísticas y herramientas en Python, integrando la librería WEKA, y apoyándose en Wavelets Morfosintácticas Lingüísticas (MLW), técnicas de Aprendizaje Automático (redes neuronales para clasificación, Expectation Maximization para clustering, Mapas Auto-organizados para autoindexación de documentos) y Sistemas Expertos para la implementación del front-end con AIML.

El corpus constituye un paso clave en el flujo de trabajo de un chatterbot, dado que el procesamiento y conversión de los documentos en unidades textuales es lo que habilita las fases posteriores de análisis. En este marco, la contribución principal de este artículo es la presentación de un método que incorpora reconocimiento óptico de caracteres (OCR) o reconocimiento inteligente de caracteres (ICR) y técnicas de Aprendizaje Automático para realizar segmentación y etiquetado, junto con una heurística que transforma este etiquetado en expresiones regulares capaces de representar la estructura global del documento.

El resto del artículo se organiza del siguiente modo: en la sección 2 se introduce el contexto general del sistema PTAH, que constituye el marco de aplicación principal. En la sección 3 se analizan las dificultades específicas de la segmentación de documentos normativos, ahora agravadas por la necesidad de integrar OCR en archivos escaneados con diverso ruido visual. La sección 4 describe el conjunto de datos utilizado, mientras que la sección 5 detalla el procesamiento aplicado, abarcando la incorporación del OCR como etapa previa al pipeline de segmentación. En la sección 6 se presentan los resultados preliminares, destacando los principales aciertos y limitaciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



observados. Finalmente, en la sección 7 se discuten las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

## 2. Contexto: el Chatterbot PTAH

El primer chatterbot fue Eliza [9], desarrollado por J. Weizenbaum. Aunque su propósito original era simular a un psicoanalista rogeriano, marcó el inicio de una nueva generación de sistemas capaces de interactuar con seres humanos en lenguaje natural con distintos fines (posteriormente conocidos como chatbots). Entre los desarrollos más influyentes que siguieron, merecen destacarse Parry, creado por K. Colby [10, 11], y Alice, diseñado por R. Wallace en 1995 [12, 13]. En general, estos sistemas se fundamentan en el uso de patrones y plantillas aplicados a las expresiones lingüísticas.

El presente trabajo se enmarca en el desarrollo del chatterbot PTAH [14], orientado a dialogar con los usuarios sobre temas normativos. Para ello, el sistema debe realizar consultas internas en tiempo real, utilizando NLP para acceder a los documentos de su corpus y generar respuestas pertinentes. El proyecto tiene como objetivo establecer un modelo preciso de razonamiento lingüístico aplicado al ámbito regulatorio.

Las leyes y normativas recopiladas se segmentan en fragmentos, los cuales se enriquecen con metadatos derivados de las Wavelets Morfosintácticas Lingüísticas (MLW) y se estructuran en un Mapa Autoorganizado (SOM) [15] para facilitar la búsqueda semántica de consultas en el lenguaje natural. La contribución específica de este trabajo consiste en la introducción de heurísticas para la extracción automática de artículos normativos, que luego se incorporan al corpus como documentos independientes. Detalles adicionales sobre el prototipo pueden consultarse en publicaciones previas [8].

## 3. Problemas Asociados al OCR/ICR

Una parte significativa de los documentos normativos recopilados en el marco de PTAH se encuentra disponible únicamente como imágenes escaneadas en formato PDF. En estos casos, la segmentación textual no puede realizarse mediante herramientas directas de extracción de texto, sino que requiere un paso previo de OCR/ICR. Esta etapa introduce nuevas fuentes de error y ruido, que se suman a las dificultades propias del problema de segmentación, cuyo objetivo es dividir el documento en secciones identificables para facilitar su comprensión y explotación automática [16].

En esta Sección se presentan los principales problemas encontrados al integrar OCR/ICR con las etapas iniciales del algoritmo de segmentación propuesto en trabajos previos [17], hasta alcanzar la detección de secciones y evaluar su desempeño en condiciones reales de documentos escaneados.

El OCR/ICR constituye, por lo tanto, un paso indispensable cuando las normativas solo están disponibles en formato imagen. Sin embargo, este proceso introduce múltiples errores que afectan de manera directa la calidad del texto reconocido y, en consecuencia, la segmentación automática. Las dificultades abarcan desde factores técnicos —como la calidad del escaneo, la resolución o la tipografía— hasta problemas estructurales y lingüísticos propios de la documentación jurídica. A continuación, se presentan los inconvenientes más relevantes identificados en esta etapa del pipeline.

### 3.1 Digitalización y Degradación Visual

Muchos documentos provienen de escaneos antiguos, fotocopias sucesivas o digitalizaciones con equipamiento heterogéneo. Esto genera variaciones en resolución, inclinaciones, manchas, sombras y contrastes irregulares. El OCR/ICR es especialmente sensible a estas condiciones: textos borrosos o inclinados incrementan significativamente la tasa de error. Estudios previos muestran que la degradación visual puede provocar caídas abruptas en la precisión, incluso en motores OCR/ICR modernos [18, 19, 20].

### 3.2 Encabezados y Pies de Página Repetitivos

En documentos institucionales es común que cada página incluya encabezados fijos (nombre de la universidad, consejo superior, número de ordenanza) y pies de página con numeración o sellos. El OCR/ICR captura estos fragmentos en cada página, generando redundancia textual. Este ruido estructural interfiere con las heurísticas de segmentación, ya que introduce etiquetas y saltos de línea que no forman parte del cuerpo normativo [21].

### 3.3 Firmas, Sellos y Elementos Gráficos

La normativa universitaria suele incorporar firmas manuscritas, rúbricas, sellos institucionales e incluso logotipos. Los motores de OCR/ICR tienden a interpretar estos elementos gráficos como texto válido, asignándoles con frecuencia un alto nivel de confianza [22]. El resultado son secuencias de caracteres aleatorios que contaminan la salida y de no ser filtradas, se propagan a las etapas posteriores de segmentación y análisis. Una estrategia efectiva para mitigar este problema consiste en aplicar máscaras visuales que excluyan las zonas gráficas antes del reconocimiento [23], mejorando de manera significativa la precisión en documentos con ruido visual.

### 3.4 Rupturas de línea y distorsión de la estructura textual

El OCR/ICR reproduce fielmente los cortes de línea presentes en la imagen, aunque no correspondan a párrafos lógicos. Esto es frecuente en textos justificados en columnas estrechas o en escaneos con márgenes irregulares. El resultado es un texto fragmentado en múltiples líneas cortas, lo cual dificulta la detección de párrafos y secciones [24, 25]. Al aplicar reglas basadas en saltos de línea, estos errores se amplifican, provocando que un mismo párrafo se etiquete indebidamente como varias secciones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 3.5 Confusión entre Caracteres Similares

El OCR/ICR presenta errores recurrentes en la identificación de caracteres visualmente parecidos. Entre los más comunes se encuentran "0" ↔ "O", "1" ↔ "l" ↔ "I" y "rn" ↔ "m" [26]. En documentos legales este problema es crítico, ya que afecta directamente a referencias normativas (números de artículos, decretos, resoluciones), cuya transcripción correcta resulta indispensable para la indexación. Incluso un único error en la numeración puede derivar en una clasificación incorrecta o en la imposibilidad de vincular referencias cruzadas.

### 3.6 Limitaciones Lingüísticas en el Dominio

Aunque motores como Tesseract disponen de modelos entrenados para el idioma español, el vocabulario jurídico y administrativo introduce términos especializados que no siempre son reconocidos de manera adecuada [27]. Palabras clave como "considerando" o "resuelve", esenciales para la segmentación, pueden aparecer deformadas, afectando directamente la detección de etiquetas. Este sesgo lingüístico evidencia la necesidad de ajustar los modelos OCR/ICR o de aplicar correcciones posteriores específicas para el dominio legal.

## 4. Características del Conjunto de Datos

El sistema PTAH se alimenta principalmente del Digesto de la Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER) [28], un repositorio que concentra la normativa institucional vigente. Este corpus incluye ordenanzas, resoluciones, estatutos y actas, constituyendo la fuente principal de información para el presente trabajo.

La mayoría de los documentos del Digesto se encuentran disponibles únicamente en formato PDF escaneado, lo que exige la aplicación de técnicas de OCR/ICR para convertirlos en texto plano. Esta característica representa uno de los mayores desafíos del procesamiento, ya que introduce problemas asociados al OCR/ICR, tales como ruido visual, encabezados y pies de página repetitivos, así como firmas y sellos institucionales. Sin embargo, estas mismas condiciones garantizan que los experimentos se realicen en un escenario de uso realista, reflejando fielmente la calidad y heterogeneidad de la documentación universitaria.

Además, con fines de comparación y validación, se incluyen en el corpus documentos previamente procesados y validados, actualmente utilizados por el sistema PTAH. Esto permite disponer tanto de un punto de referencia confiable para evaluar los resultados como de un marco de contraste frente a los documentos escaneados, fortaleciendo así la solidez del análisis experimental.

## 5. Pipeline con Incorporación de OCR/ICR

Siguiendo la metodología propuesta en [17], el pipeline original comenzaba con la detección del tipo de archivo a procesar (Step 1), asumiendo como entrada un documento con texto embebido. Sin embargo, dado que la mayoría de los insumos actuales se encuentran en PDF escaneado sin texto embebido, resultó necesario incorporar un paso adicional previo (Step 0). Este paso aplica OCR/ICR al documento escaneado para generar como salida un archivo de texto completo y utilizable. De esta manera, el flujo se conecta directamente con el pipeline original, actuando como una etapa previa pero plenamente integrable. Con este ajuste, la metodología conserva la estructura segmentada del trabajo previo y amplía su alcance a condiciones reales de documentación digitalizada.

Con el objetivo de asegurar la reproducibilidad del proceso, el pipeline fue encapsulado en un contenedor Docker que integra todas las dependencias necesarias (Python, Tesseract, pdfplumber, pdf2image, entre otras). Esta estrategia permite ejecutar los experimentos de manera controlada e independiente del entorno, garantizando que puedan replicarse sin configuraciones adicionales. El contenedor incluye, además, notebooks Jupyter, que funcionan como entorno interactivo para desarrollar y probar variantes de preprocesamiento y OCR, comparar configuraciones de parámetros y analizar resultados parciales. Así, el mismo entorno cumple un doble propósito: laboratorio de investigación y ajuste de heurísticas, y base para una futura implementación como servicio API integrado a PTAH.

### 5.1 Descripción detallada del "Step 0"

A continuación, se presenta el paso agregado (Figura 1) al proceso completo de segmentación automática.

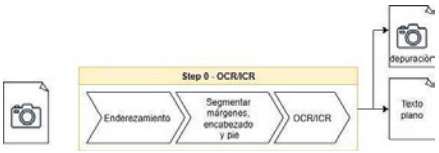



**Figura 1. Proceso "Step 0"**

#### 5.1.1 Preprocesamiento de la Imagen

Antes de aplicar OCR/ICR, los documentos escaneados fueron sometidos a operaciones de preprocesamiento destinadas a mejorar la legibilidad y reducir el ruido:

- **Enderezamiento (deskew)**: corrección de la inclinación para alinear los renglones.
- **Segmentación preliminar en zonas**: identificación de márgenes laterales, encabezado, cuerpo y pie de página, con el fin de excluir información repetitiva (por ejemplo, membretes y numeración).
- **Binarización adaptativa**: conversión a blanco y negro para aumentar el contraste entre texto y fondo.

#### 5.1.2 Reconocimiento Automático de Caracteres

Tras el preprocesamiento, se aplicó Tesseract OCR configurado para español. Se ensayaron distintos modos de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



segmentación de página (--psm) y de motor (--oem), buscando la combinación más adecuada para documentos normativos.

#### 5.1.3 Resultados del "Step 0"

El resultado de esta etapa es doble:

- **Archivo de texto plano (.txt)**: contiene la transcripción completa del contenido reconocido. Este archivo constituye la salida principal del Step 0 y, al mismo tiempo, el punto de entrada al pipeline original, que asumía como insumo inicial un documento en texto digital. Con ello, los PDFs escaneados se convierten en un formato equivalente al de la propuesta anterior, garantizando la continuidad metodológica y permitiendo aplicar sin modificaciones las heurísticas de detección y segmentación.
- **Imágenes de depuración**: generadas por cada página procesada, muestran las zonas detectadas (encabezado, cuerpo, pie) y cada palabra reconocida, acompañada de su nivel de confianza. Estas salidas son útiles para evaluar la calidad del reconocimiento, identificar patrones de error y ajustar estrategias de preprocesamiento en experimentos posteriores.

### 5.2 Pipeline de Segmentación

Por su lado, la segmentación se realiza en los siguientes pasos (Figura 2).

#### 5.2.1 Step 1 – Preprocesamiento

Se detecta el tipo de archivo de entrada: PDF con texto embebido, paquete ofimático (.docx, .odt) o texto plano (.txt). Una vez identificado, se verifica la consistencia del formato para asegurar que las etapas posteriores operen siempre sobre datos textuales. En el caso de los PDFs escaneados, el insumo ya corresponde al archivo generado en el Step 0.

#### 5.2.2 Step 2 – Detección del Tipo de Documento

Se analiza el encabezado del documento y sus primeras líneas para identificar palabras clave como ley, ordenanza, estatuto, resolución o disposición. Si se encuentra alguna, se asigna la categoría correspondiente; en caso contrario, el documento se etiqueta como jurisprudencia (categoría por defecto).

#### 5.2.3 Step 3 – Segmentación en Secciones

El texto se divide aplicando la heurística definida en el trabajo previo. El fin de párrafo se detecta por la combinación de tres reglas:

- Aparición de palabras en mayúsculas
- Presencia de números arábigos o romanos
- Varias líneas en blanco consecutivas.

Cada segmento resultante se valida contra una lista de etiquetas clave (artículo, visto, considerando, resuelve, anexo). En ausencia de coincidencia, se asigna la etiqueta genérica TAG.

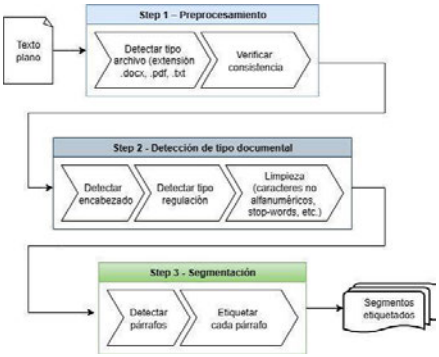



**Figura 2. Segmentación (Step 1, 2 y 3)**

### 5.3 Validación

La validación en esta etapa se realizó principalmente mediante inspección visual, tanto del texto transcripto como de las imágenes de depuración. Este procedimiento permitió identificar errores evidentes de reconocimiento y evaluar la calidad relativa de las configuraciones probadas.

Para sistematizar estas observaciones, se diseñó una planilla de análisis, donde cada documento correspondía a una fila y las columnas registraban indicadores visuales sobre aspectos clave: aparición de ruido por firmas, saltos de página o tablas, y correcta identificación de secciones normativas (VISTO, CONSIDERANDO, RESUELVE, ARTÍCULOS, ANEXOS). Los valores 1 y 0 reflejaban si el sistema resolvía satisfactoriamente un criterio o si, por el contrario, se detectaba un problema.

Complementariamente, se incorporó una columna específica para evaluar el desempeño del preprocesamiento del "Step 0", calculada como la proporción de páginas en las que la detección de márgenes permitió eliminar con éxito elementos de ruido (por ejemplo, 2/6 = 0,33).

Esta estrategia permitió ponderar los aciertos y fallas recurrentes, facilitando la comparación entre documentos y la exploración de parámetros. Se trata, por ahora, de una validación cualitativa apoyada en métricas semi-cuantitativas, que ayuda a visibilizar patrones de error. Como trabajo futuro, se proyecta avanzar hacia una validación plenamente cuantitativa, contrastando la salida del Step 0 con la base de datos de PTAH para obtener métricas reproducibles de precisión y exhaustividad en la detección de secciones.

Cabe señalar que en esta etapa no se aborda la validación completa del segmentador, ya desarrollada en el trabajo previo. El foco actual se centra en evaluar la incorporación del "Step 0", y en observar cómo los errores originados en esta fase impactan en las primeras etapas del pipeline de segmentación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 6. Resultados Preliminares

En esta sección se presentan los principales hallazgos obtenidos a partir del procesamiento de los documentos normativos utilizando el pipeline propuesto. El análisis se centra en el desempeño del preprocesamiento ("Step 0"), en la detección de ruido generado por OCR/ICR y en el impacto de estos errores sobre las primeras etapas de segmentación (Steps 2 y 3).

Se procesaron un total de 20 documentos normativos, divididos en dos conjuntos equivalentes: 10 resoluciones y 10 ordenanzas. Este corpus fue seleccionado como representativo de la normativa universitaria de interés para el sistema PTAH, permitiendo evaluar el desempeño del pipeline tanto en documentos con estructura relativamente estable (ordenanzas) como en aquellos con mayor variabilidad en redacción y formato (resoluciones).

Uno de los problemas más recurrentes detectados en el Step 0 fue la presencia de firmas manuscritas y rúbricas, que el OCR/ICR interpretó incorrectamente como texto válido. En varios casos, estas marcas gráficas fueron reconocidas con niveles de confianza altos, generando secuencias de caracteres aleatorios que contaminaron el cuerpo del documento. La Figura 3 ilustra un ejemplo de este fenómeno: en el margen izquierdo de la página se observa la firma manuscrita, mientras que en la transcripción OCR (derecha) se aprecia la secuencia espuria de caracteres generada.

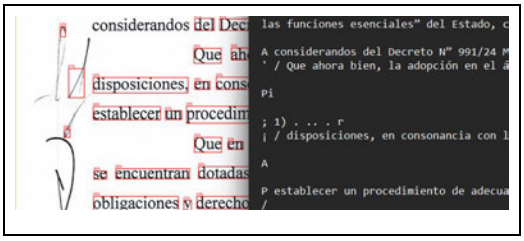



**Figura 3. Ejemplo de Margen con Firma**

El análisis del preprocesamiento mostró un desempeño heterogéneo. En promedio, la exclusión de zonas periféricas permitió eliminar correctamente firmas, encabezados y pies de página en el 47% de las páginas. El rango de efectividad fue amplio: algunos documentos no experimentaron ninguna mejora, mientras que en los casos más favorables se logró eliminar hasta el 80% del ruido visual.

Sin embargo, uno de los principales obstáculos identificados es que las firmas no siempre se encuentran dentro de márgenes lineales estrictos. En varios documentos aparecen en zonas en blanco, con posiciones irregulares que atraviesan los límites definidos por las heurísticas (Figura 4). A esto se suman otros problemas frecuentes: márgenes distintos en páginas pares e impares, variaciones introducidas por imprecisiones manuales en el escaneo (como inclinaciones o recortes desiguales), y la presencia de tabulaciones, viñetas o sangrías —como la francesa— que desplazan el bloque de texto. En estos casos, la técnica de exclusión periférica no logra eliminar el ruido, y el motor OCR/ICR transcribe trazos o caracteres espurios como texto válido.

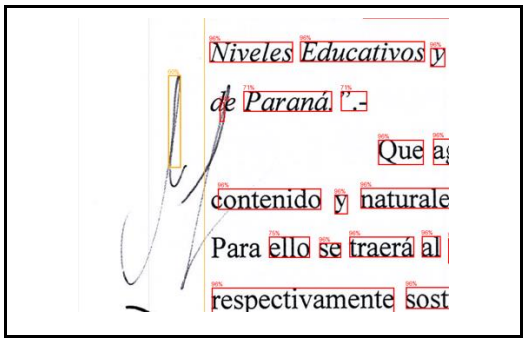



**Figura 4. Firma fuera del Margen**

En cuanto a los errores específicos del OCR/ICR, se observó que el 85% de los documentos presentó ruido asociado a firmas o rúbricas reconocidas como texto válido con alta confianza. Además, la totalidad del corpus (100%) evidenció saltos de línea indeseados, que fragmentaron artificialmente los párrafos y afectaron la segmentación posterior. En los anexos que incluyen tablas y figuras, el reconocimiento generó transcripciones desordenadas y caracteres residuales, dificultando la detección correcta de la etiqueta "ANEXOS" y comprometiendo la coherencia de estas secciones.

Respecto a los pasos posteriores del pipeline, los 20 documentos fueron correctamente clasificados en su tipo (ordenanza o resolución), demostrando robustez en la tipificación general. En lo que respecta a la detección de secciones normativas, aproximadamente un 75% de los casos identificó correctamente las etiquetas "VISTO" y "CONSIDERANDO", mientras que el resto presentó resultados heterogéneos, que oscilaron desde la asignación genérica de la mayoría de los párrafos como [TAG] hasta la aparición de falsos positivos que alteraron la estructura lógica esperada.

## 7. Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que el "Step 0" constituye una etapa crítica en el pipeline, dado que la mayoría de los errores en la segmentación se originan en el proceso de OCR/ICR. Aunque el recorte por márgenes permitió mitigar parcialmente la influencia de firmas, encabezados y pies de página, su desempeño fue heterogéneo: en promedio resolvió un 47% de los casos, con documentos en los que no tuvo efecto y otros en los que alcanzó hasta el 80%. La alta incidencia de ruido por firmas (85%), la presencia universal de saltos de línea indeseados (100%) y las dificultades observadas en anexos con tablas y figuras confirman que los principales desafíos del sistema se concentran en esta fase inicial.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A pesar de estas limitaciones, el pipeline mostró robustez en las etapas posteriores: los 20 documentos analizados fueron correctamente clasificados según su tipo (resoluciones u ordenanzas) y aproximadamente un 75% permitió identificar de manera adecuada las secciones "VISTO" y "CONSIDERANDO". Sin embargo, en el resto de los casos se observaron resultados dispares, que incluyeron asignaciones genéricas [TAG] y falsos positivos, evidenciando la fuerte dependencia de la segmentación respecto de la calidad del texto de entrada.

Como líneas de trabajo futuro, se plantean varias mejoras:

- Reemplazar la segmentación por márgenes fijos por un enfoque de detección de regiones más inteligente basado en técnicas como YOLO o Faster R-CNN, capaz de discriminar texto de elementos gráficos, firmas y sellos.
- Implementar métodos de normalización de saltos de línea para recomponer párrafos lógicos a partir de fragmentos dispersos, mejorando la coherencia del texto para la segmentación.
- Ajustar y entrenar modelos OCR/ICR específicos para el vocabulario jurídico y administrativo, reduciendo errores en términos clave como considerando o resuelve.
- Extender el preprocesamiento para manejar tablas, listas y estructuras complejas presentes en anexos, evitando transcripciones desordenadas que dificultan la detección de secciones.
- Avanzar hacia una validación cuantitativa sistemática, contrastando la salida del "Step 0" con la base de datos de PTAH para obtener métricas reproducibles de precisión, exhaustividad y consistencia en la detección de secciones.

En conjunto, estos resultados y propuestas de mejora sientan las bases para un pipeline más robusto y adaptable, capaz de procesar de manera confiable documentos normativos universitarios en condiciones de digitalización heterogénea, garantizando una mejor integración con el sistema PTAH y un avance significativo hacia la automatización de la segmentación normativa.

## Referencias

[1] Winograd, T. (1972) "Procedures as a Representation for Data in a Computer Program for Understanding Natural Language". Cognitive

[2] Manning C., Schütze H. (1999) Foundations of Statistical Natural Language Processing. MIT Press. Psychology Vol.3 Nº1

[3] Corcho, O., López Cima, A., Gómez Pérez, A. (2006) "A Platform for the Development of Semantic Web Portals". ICWE 06. ACM

[4] WEBODE (2022) http://webode.dia.fi.upm.es/WebODEWeb/index.html

[5] Paroubek, P., Schabes, Y., Joshi, A. (1992) "XTAG - A Graphical Workbench for Developing Tree-Adjoining Grammars". Third Conference on Applied Natural Language Processing

[6] Aguado de Cea, G., Álvarez de Mon y Rego, I., Pareja Lora, A. (2002) "Primeras aproximaciones a la anotación lingüístico-ontológica de documentos de la Web Semántica: OntoTag". Iberoamerican Magazine of AI. No. 17. pp. 37 – 49

[7] Vila, K., Díaz, J., Fernández, A., Ferrández, A. (2010) "An Approach for Adding Noise Tolerance to Restricted-Domain Information Retrieval". NLDB 2010. Lecture Notes in Computer Science, vol 6177

[8] López De Luise, D. (2011) "Morphosyntactic Linguistic Wavelets for Knowledge Management". In-Tech Open book "Intelligent Systems", ISBN 979-953-307-593-7

[9] Weizenbaum, J. (1966) "ELIZA A Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine". Communications of Association for Computing Machinery 9, pp. 36-4

[10] Colby K.M., Hilf F.D., Weber S., Kraemer J. (1972) "Turing-Like Indistinguishability Tests for the Validation of a Computer Simulation of Paranoid Processes". A.I., 3, 199-222

[11] Weizenbaum, J. (1976) "Computer power and human reason". San Francisco, CA. W.H. Freeman

[12] ALICEBOT (2022) alicebot.blogspot.com

[13] Wallace, R. (2003) "The Elements of AIML Style". ALICE AI FOUNDATION

[14] López De Luise, D., Pascal, A., Saad, B., Álvarez, C., Pescio, P., Carrilero, P., Malgor, R., & Díaz, J. (2016) "Intelligent Chatter Bot for Regulation Search"

[15] López De Luise, D., Álvarez, C., Pascal, A., Pancrak, C. (2020) "Chatbots: Autoexpansion Approach to Improve Natural Language Automatic Dialogs". In Proc. of Int. IEEE ARGENCON 2020

[16] Markewich, L, Zhang, H. and Xing, Y. (2022) "Segmentation for document layout analysis: not dead yet". Int. Journal on Document Analysis and Recognition

[17] López De Luise, D., Pascal, A., Álvarez, C., Vales, E. (2022) "A Mining approach for Automatic Processing of Regulatory Document".

[18] Gilbey, A. & Schönlieb, C. (2021) "An end-to-end Optical Character Recognition approach for ultra-low-resolution printed text images."

[19] Iwata, M. et al. (2025) "Guidelines for External Disturbance Factors in the Use of OCR in Real-World Environments."

[20] Wang, X. et al. (2025) "A comprehensive survey on shadow removal from scanned document images. International Journal on Document Analysis and Recognition. Springer."

[21] X. Lin, (2007) "Header and Footer Extraction by Page-Association," in Proc. Int. Conf. Document Analysis and Recognition (ICDAR),

[22] P. Shinde, A. Kulkarni, y M. Kuberkar, (2022) "EraseNet: A Recurrent Residual Network for Supervised Document Cleaning,"

[23] Rotman, M., et al., (2022) "Detection Masking: Excluding Non-Text Regions to Improve OCR Accuracy in Noisy Document Images,"

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[24] Vempati, S. et al., (2025) "Why Stop at Words? Unveiling the Bigger Picture through Line-Level OCR"

[25] Bluche, T., Moysset, B. y Kermorvant C. (2017) "Automatic Line Segmentation and Ground-Truth Alignment of Handwritten Documents"

[26] Garrison, P. et al., (2005) "A Study of Style Effects on OCR Errors in the MEDLINE Database"

[27] Betancur Sánchez et al. (2025) "MEL: Legal Spanish Language Model".

[28] DIGESTO UADER (2025) https://digesto.uader.edu.ar/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Predicción del nivel del Río Gualeguaychú: construcción de un conjunto de datos y modelo basado en redes neuronales LSTM

Tobías Grandi
*Universidad Tecnológica Nacional,*
*Facultad Regional Concepción del Uruguay*
Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
grandit@frcu.utn.edu.ar

Carlos Casanova Pietroboni
*Universidad Tecnológica Nacional,*
*Facultad Regional Concepción del Uruguay*
Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
casanovac@frcu.utn.edu.ar

***Resumen*—Las inundaciones fluviales se originan cuando los ríos y arroyos exceden su capacidad de contención, desbordando sus riberas y vertiéndose en terrenos adyacentes. El impacto de estas crecidas puede incluir problemas sociales de salud, destrucción de obras de infraestructura, destrucción de viviendas, entre otros. No obstante, si se aplican medidas preventivas, las inundaciones pueden no resultar catastróficas para una ciudad. Para ello es necesario un sistema que pueda predecir las crecientes con un margen de tiempo adecuado. En este trabajo se presenta un estudio realizado sobre el río Gualeguaychú para la construcción de un modelo predictivo de estas características. En particular, se exploran fuentes de acceso abierto sobre variables relevantes para el fenómeno, se recopilas y se construye un conjunto de datos apto para el uso en el entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático. Además, como prueba de concepto, se utilizan redes neuronales tipo LSTM (Long Short Term Memory), se entrena y se evalúa su capacidad predictiva en distintos plazos de predicción. Finalmente, se propone una manera de visualizar las predicciones junto a la imprecisión propia de los pronósticos meteorológicos utilizados en el proceso predictivo. Los resultados son alentadores, aunque surgen interrogantes respecto de la calidad de las fuentes de datos y su disponibilidad en el entorno operativo.**

***Palabras clave*—** Analítica predictiva, Predicción de Inundaciones, Conjunto de Datos, Redes Neuronales Artificiales, Long Short Term Memory, Visualización informada sobre la incertidumbre.

## I. Introducción

La Cuenca del río Gualeguaychú se ubica en el sudeste de la Provincia de Entre Ríos. Con marcada dirección norte-sur, corre paralela a la Cuenca del río Uruguay para desaguar en él. La Cuenca ocupa una superficie de 6690 km$^2$ y forma parte de la Cuenca del Plata. Limita al este y norte con la Cuenca Internacional del río Uruguay, al oeste con la del río Gualeguay y por el sur con arroyos afluentes al Uruguay.

El río Gualeguaychú tiene una longitud aproximada de 250 km, nace en el centro este de la provincia de Entre Ríos y con dirección sur llega el río Uruguay luego de pasar por la ciudad homónima. La cuenca ha tenido un importante desarrollo donde su principal recurso es el río. En la Figura 1 se muestra un mapa con la cuenca del río Gualeguaychú y todos sus afluentes.

Según un informe del Instituto de Geología y Recursos Minerales [2], las principales actividades económicas de la región son las agrícolas-ganaderas. La agricultura produce maíz, soja, girasol y forrajeras, con rindes muy altos. La ganadería, especialmente de vacunos, es considerable. En menor proporción también hay equinos, porcinos y ovinos. En Entre Ríos se localizan numerosos criaderos de pollos. Finalmente, existen amplios sectores de la zona del Delta dedicados a forestaciones, no solo relacionados con la producción de madera, sino especialmente como insumo para las papeleras.

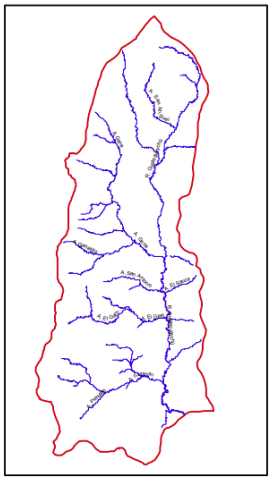


Figura 1: Cuenca del Río Gualeguaychú (extraído de [1])

Numerosas industrias se encuentran distribuidas en toda la hoja, principalmente en las zonas urbanas y suburbanas de Gualeguaychú. El principal rubro son las industrias alimenticias.

Dada su proximidad a la región metropolitana bonaerense y las particularidades eco-ambientales que posee la región, es una zona de importante actividad turístico-recreativa.

Este sistema socioeconómico, donde el río es gran protagonista, se ve afectado por las crecidas repentinas. Las inundaciones fluviales se originan cuando los ríos y arroyos exceden su capacidad de contención, desbordando sus riberas y vertiéndose en terrenos adyacentes. El impacto de estas crecidas puede incluir problemas sociales de salud, destrucción de obras de infraestructura, destrucción de viviendas, afectación de los servicios, afectación de las vías de

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Municipalidad de San José de Gualeguaychú.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



comunicación y el transporte, disrupción de la economía, pérdida de la capacidad productiva de los suelos, destrucción de fábricas, usinas y otros lugares de trabajo, agravamiento de las desigualdades sociales, regionales y nacionales, entre otras [2].

No obstante, una inundación puede no resultar en una catástrofe si se emprenden medidas de mitigación. En este sentido, una catástrofe ocurre cuando un riesgo geológico tiene lugar en condiciones de no-prevención y, en muchos casos, de no predicción [2]. A veces, tiene lugar cuando no se han ejecutado las medidas estructurales (por ejemplo, construcción de defensas) y no estructurales necesarias (por caso, evacuación de los ribereños). Sobre todo en este segundo caso, **la capacidad de anticiparse a la crecida es una condición necesaria para la aplicación de cualquier medida de mitigación no estructural**.

### *I-A. Redes de Monitoreo de Cuencas*

A día de hoy existen varias iniciativas, sobre todo de carácter público, que buscan recopilar datos relativos a las cuencas de la Argentina y disponibilizarlos rápidamente. Tal es el caso del Sistema Nacional de Información Hídrica [3], el cual provee de registros históricos y en tiempo cuasi real provenientes de estaciones propias de la Subsecretaría de Recursos Hídricos, así como de otros organismos que han adherido a esta Base incorporando los datos de sus respectivas redes y otros links a redes de terceros. El sistema cuenta con una interfaz web abierta donde se ubican las estaciones en el mapa y es posible consultar distinta clase de variables: hidrológicas, meteorológicas, calidad del agua, entre otras. Es decir que existen datos recopilados que, de tener la suficiente calidad, podrían ser aprovechados para construir modelos predictivos.

### *I-B. Metodologías conducidas por los datos*

Las metodologías modernas conducidas por los datos y basadas en inteligencia artificial han demostrado poseer altas capacidades predictivas. En este sentido, un modelo construido a través de tales metodologías puede ser una de las componentes fundamentales de un sistema de monitoreo continuo y predicción que se anticipe a las crecidas del río Gualeguaychú con el objetivo de mitigar su impacto.

Este trabajo busca, por tanto:

- Identificar las fuentes de datos abiertos que contengan observaciones de variables de interés, así como pronósticos de tales variables.
- Construir un conjunto de datos apto para ser utilizando en el entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático.
- Entrenar modelos de aprendizaje automático y evaluar su precisión en la tarea de predecir la altura del río Gualeguaychú con distintos plazos de predicción.
- Diseñar visualizaciones que, además de proporcionar las predicciones, informen sobre la posible imprecisión en los valores de algunas de las variables (por caso, meteorológicas).

El resto del trabajo se estructura como sigue. La sección II se describen los fundamentos de las Redes Neuronales Artificiales y particularmente las redes LSTM (Long Short Term Memory). Luego, la sección III presenta trabajos relacionados e identifica variables plausibles de utilizar como entradas del modelo predictivo. A continuación, la sección IV describe la construcción del conjunto de datos, desde la identificación de las fuentes hasta el preprocesamiento realizado. Luego, la sección V describe la arquitectura del modelo y la sección VI presenta todos los detalles de la prueba de concepto realizada a partir de los datos recopilados, desde el entrenamiento, ajuste de hiperparámetros, estrategia de prueba y análisis de los resultados. La sección VIII identifica amenzas a la validez. También se realizan algunas observaciones respecto de la precisión de los pronósticos y se propone una forma de visualizar la imprecisión en las predicciones en la sección IX. Finalmente, en la sección X se identifican las conclusiones y trabajos futuros.

## II. Redes Neuronales Artificiales

El trabajo sobre las redes neuronales artificiales, comúnmente denominadas *redes neuronales*, se ha visto motivado desde sus inicios por el reconocimiento de que el cerebro humano procesa la información de una manera totalmente diferente a la de las computadoras digitales convencionales. El cerebro puede verse como una computadora (sistema de procesamiento de información) altamente compleja, no lineal y paralela. Tiene la capacidad de organizar sus componentes estructurales, conocidos como neuronas, para realizar ciertos cálculos (por ejemplo, reconocimiento de patrones, percepción y control motor) muchas veces más rápido que la computadora digital más rápida que existe en la actualidad.

Haykin [4] define una red neuronal como un procesador distribuido masivamente paralelo compuesto por unidades de procesamiento simples que tiene una propensión natural a almacenar conocimiento empírico y ponerlo a disposición para su uso.

El procedimiento utilizado para llevar a cabo el proceso de aprendizaje se denomina algoritmo de aprendizaje, cuya función es modificar los pesos sinápticos de la red de forma ordenada para alcanzar el objetivo de diseño deseado.

La unidad fundamental de procesamiento de información que compone una red neuronal es la neurona. En una red neuronal, las neuronas se interconectan entre sí en una arquitectura. Asimismo, cada una de las neuronas tiene una función de activación asociada, con el fin de limitar la amplitud de la salida de una neurona.

Las familias de funciones de activación utilizadas (Sigmoide, Tangente hiperbólica, ReLU, etc.) y las maneras de organizar la arquitectura (capas con conexiones sólo hacia adelante, en capas con conexiones hacia atrás, etc.) son las que determinan distintas clases de redes neuronales y, a menudo, distintas clases de métodos de entrenamiento.

### *II-A. Long-Short Term Memory*

Las Long-Short Term Memory (LSTM) son redes neuronales recurrentes (RNN), las cuales se caracterizan por poseer un estado interno en cada paso temporal de la inferencia. Esto se debe a las conexiones circulares entre las neuronas de las capas superiores e inferiores y a las conexiones de retroalimentación opcionales [5]. Estas conexiones de retroalimentación permiten a las RNN propagar datos de eventos anteriores a los pasos de procesamiento actuales. De este modo, las RNN crean una memoria de eventos de series temporales, lo cual resulta muy adecuado para nuestro caso de estudio.

Las LSTM se asemejan a las redes neuronales recurrentes estándar, pero aquí cada nodo recurrente ordinario se sustituye por una celda de memoria. Cada celda de memoria contiene un estado interno, es decir, un nodo con un arco recurrente autoconexo de peso fijo 1, lo que garantiza que el gradiente pueda pasar por muchos pasos temporales sin desaparecer ni explotar [6].

Cada celda de memoria está equipada con un estado interno y una serie de compuertas multiplicativas que determinan si (i) una entrada determinada debe afectar al estado interno (la compuerta de entrada), (ii) el estado interno debe borrarse (la compuerta de olvido) y (iii) se debe permitir que el estado interno de una neurona determinada afecte a la salida de la celda (la compuerta de salida).

Se eligió esta clase de modelo por estar bien documentado, asentado en el estado del arte, y especialmente diseñado para el tratamiento de datos secuenciales. Una arquitectura más exigente en cantidad de datos como un transformer se descartó por la cantidad de datos que se pudieron recopilar (ver sección IV).

## III. Trabajos relacionados e identificación de variables

Los modelos de predicción de inundaciones pueden clasificarse en dos grandes grupos: modelos físico-matemáticos y modelos conducidos por los datos [7].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Tabla I: Variables relevantes para el modelo predictivo

| Variable | Naturaleza | Tipo de Dato |
|---|---|---|
| Altura del río Gualeguaychú en diversos puntos geográficos | Hidrométrica | Ratio |
| Altura del río Uruguay en puntos estratégicos | Hidrométrica | Ratio |
| Caudal en puntos estratégicos | Hidrométrica | Ratio |
| Precipitaciones en Gualeguaychú y aguas arriba | Meteorológica | Ratio |
| Dirección del viento en puntos estratégicos | Meteorológica | Intervalar |
| Velocidad del viento en puntos estratégicos | Meteorológica | Ratio |
| Época del año (estación, mes u otra) | Otra | Nominal |

Los modelos fisico-matemáticos han sido empleados durante un extenso período para anticipar diversos fenómenos hidrológicos, tales como tormentas, precipitaciones, condiciones de aguas poco profundas, modelos hidráulicos de flujo y otros fenómenos de circulación global, incluyendo los efectos combinados de la atmósfera, los océanos y las inundaciones [7]. Si bien los modelos físicos han demostrado una notable capacidad para predecir una amplia gama de escenarios de inundaciones, con frecuencia requieren diversos tipos de conjuntos de datos de monitoreo hidrogeomorfológico. Este requerimiento implica un cálculo intensivo que, a su vez, imposibilita la predicción a corto plazo. Además, como se indica en la referencia [8], el desarrollo de modelos físicos suele requerir un conocimiento y una experiencia profundos sobre los parámetros hidrológicos, lo que se considera una tarea sumamente ardua.

Además de los modelos anteriormente mencionados, los modelos basados en datos también tienen una larga tradición en la modelización de inundaciones, que recientemente ha ganado popularidad. Los métodos de predicción basados en datos asimilan los índices climáticos medidos y los parámetros hidrometeorológicos para proporcionar una mejor comprensión. Entre ellos, los modelos estadísticos de media móvil autorregresiva (ARMA), regresión lineal múltiple (MLR) y media móvil autorregresiva integrada (ARIMA) son los métodos más comunes de análisis de frecuencia de inundaciones (FFA) para modelar la predicción de inundaciones. También se ha reportado el uso de modelos avanzados basados en aprendizaje automático (ML). Una ventaja que incrementa la popularidad de estos modelos es que pueden formular numéricamente la no linealidad de las inundaciones, basándose únicamente en datos históricos sin necesidad de conocer los procesos físicos subyacentes. Los modelos de predicción basados en datos que utilizan ML son herramientas prometedoras, ya que se desarrollan más rápidamente con un mínimo de datos. El continuo avance de los métodos de ML durante las últimas dos décadas ha demostrado su idoneidad para la predicción de inundaciones, con una tasa aceptable de rendimiento superior a los enfoques convencionales. La referencia [7] incluye numerosos experimentos donde se aplican muchos algoritmos de ML, como las redes neuronales artificiales (ANN), las redes neuro-difusas y las máquinas de soporte vectorial (SVM) para la predicción de inundaciones a corto y largo plazo.

Entre las distintas propuestas, las variables más utilizadas en los modelos, sobre todo de corto plazo, son las precipitaciones y el examen espacial del ciclo hidrológico. A partir de la investigación documental realizada y entrevistas con expertos, se identificaron variables que, se supone, tienen alguna clase de poder explicativo respecto del comportamiento del río Gualeguaychú. A modo de resumen, en la Tabla I se especifican tales variables, clasificadas según su naturaleza (hidrométrica, meteorológica, otra) y su tipo de dato (nominal, ordinal, intervalar, ratio).

## IV. Construcción del conjunto de datos

Tomando en consideración las variables listadas anteriormente, se realizó una búsqueda de fuentes de acceso abierto que poseyeran registros sobre tales variables. Las fuentes identificadas fueron la propia Municipalidad de Gualeguaychú, Prefectura Naval Argentina, la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU), el Instituto Nacional del Agua (INA), el Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH), Windguru y Meteoblue.

Las distintas fuentes consultadas a lo largo de la recopilación contienen registros de tres tipos: históricos, últimos registros y pronósticos. Los registros de tipo históricos son aquellos que han sido procesados, es decir, recibieron algún tipo de tratamiento, como limpieza, validación, clasificación o conversión. En este sentido, son los registros con el mayor grado de certeza y, por tanto, son los de mayor calidad, aunque, como desventaja, suelen demorar varios días o hasta meses en estar disponibles. Por otro lado, últimos registros engloba los registros que no han sido procesados y son, por lo tanto, menos confiables, aunque prácticamente inmediatos. En último lugar, los pronósticos estiman el valor real de una variable de medición en un momento dado del futuro: no son datos observados, sino generados mediante algún método predictivo.

### *IV-A. Exploración y evaluación de la calidad de las fuentes*

En la tabla II se resumen las fuentes y las variables disponibles en cada una, junto a su unidad, frecuencia y tiempo a partir del que se cuenta con observaciones. Además, en la Figura 2 se pueden observar los puntos de interés descritos más arriba.

En color celeste se encuentran los pasos y puertos donde se mide la altura, y en amarillo las estaciones meteorológicas. De norte a sur encontramos el paso RP 39, el paso RN 14, Puerto Gualeguaychú, Puerto Boca y Nueva Palmira.

Al explorar los distintos conjuntos de datos reunidos, se realizaron las siguientes observaciones: existen periodos donde no se realizaron mediciones, observaciones con valores atípicos (significativamente alejado del resto de mediciones) y distintas frecuencias de medición (horaria, cada 4 horas, cada 12 horas, etc.). Además, la disponibilidad de las fuentes presentó intermitencia, con salidas de servicio frecuentes y vueltas con faltantes. Si bien en este trabajo sólo se contempló un estudio offline, esta intermitencia pone en duda la utilización de estas mismas fuentes en un escenario operativo.

### *IV-B. Pre-procesamiento*

Para el preprocesamiento se utilizaron técnicas como:

- Identificación y eliminación de anomalías.
- Manipulación de fechas: Todos los conjuntos deben respetar un mismo formato de fechas.
- Eliminación de duplicados: Eliminar aquellas observaciones repetidas.
- Manipulación de unidades: Todos los conjuntos deben tener unidades coherentes entre sí.
- Interpolación: Proceso que consiste en estimar valores intermedios faltantes dentro de un rango de conjunto de datos conocidos.
- Creación de bloques temporales: Se define un bloque temporal como una secuencia de observaciones dentro de un conjunto de datos cuya frecuencia de medición es horaria (1 dato por hora). Esta frecuencia fue seleccionada para obtener una cantidad de datos apropiada para el entrenamiento del modelo. La separación entre bloques se establece de forma tal que la última observación de un bloque tiene una diferencia de X horas con respecto a la primera observación del bloque siguiente, siendo X un valor variable que depende del conjunto de datos analizado. La elección de cantidad de horas de separación se realizó mediante distintas pruebas, tomando en cuenta la cantidad de bloques temporales resultantes al variar dicho valor, pero sin resultar en un valor de separación muy grande. Un

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Tabla II: Resumen de las fuentes consultadas

| **Fuente** | **Variable** | **Unidad** | **Tipo Registro** | **Tiempo entre registros** | **Primera medición** |
|---|---|---|---|---|---|
| Municipalidad de Gualeguaychú | Altura del río en Puerto Gualeguaychú | Metros | Histórico | 1 hora | 28/07/2016 |
| | | | Últimos registros | 15 min | 19/05/2022 |
| Prefectura | Altura del río en Puerto Gualeguaychú | Metros | Histórico | 12 horas | 1 año atrás |
| | Altura del río en Puerto Boca Gualeguaychú | Metros | Histórico | 12 horas | 1 año atrás |
| CARU-INA | Altura del río Uruguay en Nueva Palmira | Metros | Últimos registros | 1 hora | 01/12/21 |
| | | | Pronóstico (+ banda) | N/A | N/A |
| SNIH | Altura del río Gualeguaychú en RP39 | Metros | Últimos registros | 4 horas | 28/02/2020 |
| | | | Histórico (hasta 30/09/2024) | 24 horas | 13/01/2010 |
| | Altura del río Gualeguaychú en RN14 | Metros | Últimos registros (hasta 07/11/2024) | 1 hora | 09/10/2019 |
| Windguru | Dirección del viento en Ñandubaysal | Grados | Últimos registros | 1 hora | 01/01/2018 |
| | Velocidad del viento en Ñandubaysal | Nudos | Últimos registros | 1 hora | 01/01/2018 |
| | Precipitaciones en Ñandubaysal | mm | Últimos registros | 1 hora | 01/01/2018 |
| | Dirección del viento en San Justo | Grados | Últimos registros | 1 hora | 01/01/2018 |
| | Velocidad del viento en San Justo | Nudos | Últimos registros | 1 hora | 01/01/2018 |
| | Precipitaciones en San Justo | mm | Últimos registros | 1 hora | 01/01/2018 |
| Meteoblue | Dirección del viento en Ñandubaysal | Grados | Pronóstico | 1 hora | N/A |
| | Velocidad del viento en Ñandubaysal | m/s | Pronóstico | 1 hora | N/A |
| | Precipitaciones en Ñandubaysal | mm | Pronóstico | 1 hora | N/A |
| | Dirección del viento en San Justo | Grados | Pronóstico | 1 hora | N/A |
| | Velocidad del viento en San Justo | m/s | Pronóstico | 1 hora | N/A |
| | Precipitaciones en San Justo | mm | Pronóstico | 1 hora | N/A |

valor de separación muy grande resultaría en resultados pobres al realizar la interpolación en cada bloque.

El resultado de aplicar las técnicas nombradas es un conjunto de datos con formatos estandarizados, sin anomalías y separado en bloques temporales formados por datos contiguos equiespaciados sin faltantes. El conjunto de datos resultante está disponible de manera pública en [9].

## V. Arquitectura del Modelo Predictivo

En esta sección se describen las distintas entradas y salidas del modelo de predicción.

### *V-A. Entradas*

Las variables de entrada del modelo se pueden clasificar en dos grandes grupos: datos meteorológicos, es decir, información sobre el estado de la atmósfera; y datos hidrológicos, información relacionada al río. De cada clasificación, se utilizaron los datos abiertos existentes pertenecientes a distintos puntos geográficos cercanos a la ciudad de Gualeguaychú y que se presume tienen algún poder explicativo o causal respecto de la altura del río.

Las entradas que fueron seleccionadas son las siguientes:

1. Altura del Río Gualeguaychú en:
   *a*) Puerto Boca Gualeguaychú (aguas abajo)
   *b*) Puerto de la ciudad de Gualeguaychú
   *c*) Paso Ruta Nacional 14 (aguas arriba)
   *d*) Paso Ruta Provincial 39 (aguas arriba)
2. Altura del Río Uruguay en Puerto Nueva Palmira
3. Datos meteorológicos correspondientes al balneario Ñandubaysal, perteneciente a la ciudad de Gualeguaychú, y del Municipio San Justo.
   *a*) Precipitaciones
   *b*) Velocidad del viento
   *c*) Dirección del viento

Como se trata de un sistema dinámico que evoluciona en el tiempo se hace necesario incorporar varias observaciones de cada una de las once variables de entrada. En particular, en este modelo se utilizan las últimas $tw$ observaciones horarias de cada variable. Se realizaron pruebas para distintos valores de $tw$, los cuales se describen en la sección Prueba de concepto.

### *V-B. Salidas*

Las variables de salida, es decir, las que buscan predecirse, corresponden a las alturas del río Gualeguaychú en los mismos cuatro puntos descritos. Si bien la motivación de este trabajo tiene lugar en el Municipio de Gualeguaychú, es útil contar con predicciones del río aguas arriba y aguas abajo, ya que, en parte, el comportamiento en Puerto Gualeguaychú se ve afectado por el estado del resto del río. Para el caso de Puerto Nueva Palmira esto no es necesario ni conveniente, ya que, por un lado, ya se cuenta con pronósticos para Nueva Palmira por parte del Instituto Nacional del Agua (INA), y por otro, la información reunida no es suficiente para predecir razonablemente tal variable.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



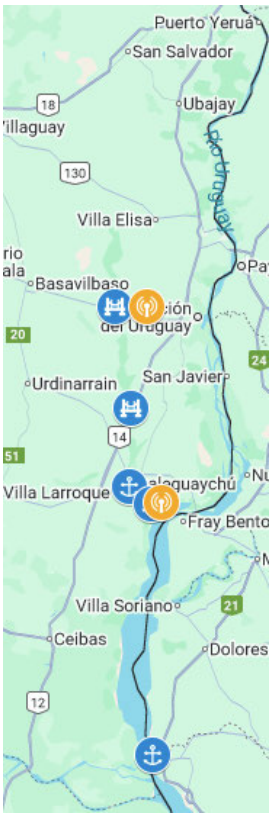



Figura 2: Ubicación de sensores de nivel y estaciones meteorológicas

Una cuestión importante a destacar es que el diseño del modelo permite realizar pronósticos con un horizonte de tiempo arbitrario si se disponen de pronósticos de las variables que no son predichas por él mismo. Tales variables son, como ya se dijo, la altura en Nueva Palmira y predicciones meteorológicas, que ya cuentan con pronósticos abiertos y disponibles para su consulta.

La función de activación utilizada comúnmente en esta capa para problemas de regresión es la lineal, por lo que se optó por ella en este modelo prototípico.

## VI. Prueba de concepto

Una vez definidas las entradas y salidas del modelo, fue necesario comprobar cómo se comportaba al variar sus distintos componentes para poder determinar si una red LSTM era capaz de realizar predicciones con la suficiente precisión. A continuación, se detallan las distintas configuraciones evaluadas.

### *VI-A. Distintas variantes de las capas ocultas*

Primero se realizaron pruebas ad hoc para determinar la cantidad de capas ocultas a utilizar, resultando 2 capas lo más prometedor en estas pruebas iniciales. Luego, se realizaron pruebas con distintas variantes de cantidad de neuronas por cada capa oculta, configuraciones que se pueden visualizar en la tabla III. Cabe destacar que no existe a día de hoy una manera infalible de determinar estos hiperparámetros [4]. En este contexto, se priorizó evitar configuraciones excesivamente complejas que pudieran conducir a sobreajuste, optando por una estructura de tamaño moderado que permita realizar generalizaciones.

Tabla III: Distintas variantes de las capas ocultas

| Neuronas primera capa | Neuronas segunda capa |
|---|---|
| 100 | 75 |
| 100 | 50 |
| 50 | 25 |

### *VI-B. División del conjunto de datos*

Para mitigar el riesgo de sobreajuste, entendido como la capacidad del modelo de aprender patrones específicos de los datos de entrenamiento en lugar de generalizar a casos no vistos, resulta necesario realizar una partición del conjunto de datos en subconjuntos que permitan evaluar el rendimiento del modelo en datos independientes, lo que asegura una estimación más confiable de su capacidad de generalización. Esta partición debe ser realizada para no caer en subajuste, es decir, que el modelo no disponga de los suficientes datos para ajustarse a los mismos de una manera apropiada.

Para poder lograr lo anteriormente expuesto, el conjunto de datos original se particiona en tres subconjuntos disjuntos: entrenamiento, validación y prueba, cada uno con un propósito específico. El conjunto de entrenamiento es empleado para que el modelo aprenda los patrones presentes en los datos. El segundo se utiliza para realizar ajustes sobre los hiperparámetros del modelo, aspecto tratado en secciones posteriores. Finalmente, el conjunto de pruebas permite evaluar de manera objetiva si el entrenamiento del modelo es correcto y generalizable a datos no observados previamente.

La división fue realizada de manera secuencial sobre el conjunto de datos original: el primer 57 % se asignó al conjunto de entrenamiento, el siguiente 21 % al conjunto de validación y el 22 % restante al conjunto de pruebas. De este modo, cada subconjunto tiene una cantidad de 7992, 2883 y 3076 mediciones, respectivamente. La asignación secuencial implica que la partición respeta el orden temporal original en que los datos fueron registrados, sin realizar un reordenamiento aleatorio previo, práctica común en otros dominios.

Es importante aclarar que, dado que el conjunto de datos se organiza en secuencias de bloques temporales, el modelo solo emplea para entrenamiento y validación aquellos cuya longitud es mayor o igual al tamaño de ventana $tw$, correspondiente al hiperparámetro que indica la cantidad de datos históricos considerados para realizar una predicción, cuya discusión se realizará en secciones posteriores. En consecuencia, cada subconjunto contiene menos datos útiles que el total de registros asignados, ya que los bloques de menor longitud se descartan. En particular, el conjunto de datos de prueba se definió de manera específica, incluyendo únicamente los bloques temporales número 35, 79 y 91, los cuales son de gran extensión y permiten evaluar de forma más precisa la capacidad de generalización del modelo en amplios periodos de tiempo.

### *VI-C. Hiperparámetros, técnicas de regularización y algoritmo utilizado*

En el contexto de aprendizaje automático, los hiperparámetros son configuraciones externas que controlan el proceso de entrenamiento de un modelo, y se establecen antes de que comience el mismo. Son variables que se configuran manualmente y no se aprenden directamente de los datos, sino que su ajuste permite controlar el comportamiento del modelo durante el entrenamiento, afectando su rendimiento y capacidad de generalización.

Por otro lado, se aplicaron técnicas de regularización, entendida como métodos para reducir el sobreajuste en modelos de aprendizaje

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



por computadora. De manera general, los procedimientos de regularización realizan mejores generalizaciones sacrificando precisión en la etapa de entrenamiento.

Para minimizar la función de pérdida en el proceso de entrenamiento, el modelo utiliza un algoritmo de optimización, definido como la secuencia de reglas mediante las cuales se actualizarán los parámetros internos del modelo de manera periódica para poder hallar los patrones ocultos en los datos.

*VI-C1. Función de pérdida:* La función de pérdida es un criterio matemático que mide la discrepancia entre las predicciones generadas por el modelo y los valores reales esperados, es decir, el error. Su valor orienta el proceso de aprendizaje, ya que el entrenamiento busca minimizar esta diferencia. En particular, se utilizó la función de pérdida Mean Squared Error (MSE), útil en problemas de regresión, donde el objetivo es predecir valores continuos. La utilización de esta métrica en particular garantiza que el modelo reduzca considerablemente los grandes errores, y no solo su promedio.

*VI-C2. Tasa de aprendizaje:* La tasa de aprendizaje es el valor que regula la velocidad con la que el modelo ajusta sus parámetros internos durante el proceso de optimización. Un valor alto puede acelerar el aprendizaje, pero volverlo inestable, mientras que un valor bajo promueve mayor precisión, aunque a costa de más tiempo de entrenamiento. Asociados a este hiperparámetro están los programadores de tasa de aprendizaje, que no son más que algoritmos que ajustan dinámicamente la tasa de aprendizaje de un modelo durante el entrenamiento en lugar de fijarla. Esto ayuda considerablemente a la convergencia y el rendimiento final. En particular, se utilizó la técnica Reduce On Plateau, que simplemente reduce la tasa de aprendizaje cuando, según la función de pérdida, el modelo dejó de mejorar. La reducción estará dada por dos valores asociados: paciencia (patience), que indica la cantidad máxima de iteraciones de entrenamiento (épocas) sin mejoras antes de reducir la tasa de aprendizaje, y factor que determina en qué proporción se reduce la tasa de aprendizaje. El valor inicial elegido para la tasa de aprendizaje fue de 0.001, mientras que se asignaron 50 épocas de paciencia y un factor de reducción de 0.3.

*VI-C3. Dropout:* Una de las técnicas de regularización utilizadas es el Dropout, que consiste en "apagar" neuronas de manera aleatoria con una cierta probabilidad durante el proceso de entrenamiento [10]. Esta sencilla técnica ayuda a prevenir que las neuronas se sobreadapten, promoviendo la generalización. El valor elegido para el dropout fue de 0.3, que indica que cada neurona tiene una probabilidad del 30 % de desactivarse aleatoriamente en cada iteración de entrenamiento, obligando a la red a no depender demasiado de neuronas específicas y favoreciendo representaciones más robustas.

*VI-C4. Tamaño del lote:* El tamaño del lote es el número de registros de entrenamiento procesados antes de que se actualicen los parámetros internos del modelo. En lugar de procesar el conjunto de entrenamiento de manera completa, se toman muestras sin repetición del mismo, obteniendo secuencias más pequeñas o lotes. Utilizar lotes de gran tamaño implica procesar más datos a la vez y aprovechar de mejor manera la capacidad de procesamiento, reduciendo el tiempo de entrenamiento. Sin embargo, esto puede derivar en un sobreajuste sobre los datos de entrenamiento, limitando la capacidad de generalización. Para las distintas pruebas realizadas se utilizó un tamaño de lote de 256, que permite un entrenamiento rápido sin comprometer significativamente la capacidad de generalización del modelo.

*VI-C5. Tamaño de la ventana:* Como se mencionó anteriormente, se realizan muestras en el conjunto de entrenamiento para generar lotes, donde cada elemento del lote se llamará ventana, definida como una secuencia de mediciones con frecuencia horaria. El tamaño de la ventana es un hiperparámetro que ajusta la cantidad de registros históricos considerados para crear una ventana, que luego se utilizará para realizar una predicción. Es decir, nos indica qué tanto miraremos en el pasado para realizar el próximo pronóstico. Recordemos que, dada la naturaleza del problema, todos los registros abarcados por una misma "ventana" conforman una secuencia de mediciones con frecuencia horaria, donde entre el primero y el último habrá una diferencia de "tamaño de la ventana" ($tw$) horas. Es importante notar que, a mayor tamaño de la ventana, menor será la cantidad de secuencias que pueden construirse a partir del conjunto de datos disponibles. Esto se debe a que cada ventana necesita más registros consecutivos, por lo que los primeros registros de cada bloque, o aquellos bloques temporales cuya cantidad de mediciones sea menor al tamaño de la ventana, no pueden ser utilizados por no ser capaces de completar la longitud requerida.

Tabla IV: Distintas configuraciones de hiperparámetros

| ID modelo | Neuronas | | $tw$ (h) | Reordenamiento |
|---|---|---|---|---|
| | Primera capa | Segunda capa | | |
| 5 | 50 | 25 | 48 | Verdadero |
| 7 | 100 | 75 | 48 | Verdadero |
| 8 | 100 | 50 | 48 | Verdadero |
| 12 | 100 | 50 | 24 | Falso |
| 18 | 100 | 50 | 72 | Verdadero |

*VI-C6. Reordenamiento:* A la creación de los conjuntos de datos se asocia un parámetro Shuffle que tomará como únicos valores verdadero o falso. En el primer caso, se realizará un reordenamiento aleatorio de las secuencias de datos (ventanas), lo que puede impactar de manera positiva en el rendimiento final del modelo, ya que evita que los datos se presenten siempre en el mismo orden. Cabe aclarar que este reordenamiento no altera el orden interno de cada ventana de datos, sino únicamente el de las secuencias como un todo.

*VI-C7. Detención temprana:* Otra técnica de regularización utilizada fue la detención temprana. Este método consiste en detener el proceso de entrenamiento antes de que el modelo comience a sobreajustar, a través de la supervisión del rendimiento del modelo en un conjunto de validación. En cuanto el rendimiento decae de manera sostenida, se detiene el entrenamiento para evitar perder capacidad de generalización. Esta técnica se controla mediante dos parámetros: la paciencia (patience), que indica cuántas iteraciones de entrenamiento (épocas) adicionales se permiten antes de detener el entrenamiento ante una degradación sostenida, y el diferencial mínimo (min_delta), que define la mejora mínima necesaria en la métrica de validación para considerar que el modelo sigue progresando. Se utilizaron valores de 30 épocas y 0.0001, respectivamente.

*VI-C8. Algoritmo de optimización:* El algoritmo de optimización tiene como función principal ajustar iterativamente los parámetros internos de un modelo para lograr minimizar la función de pérdida. Es fundamental para entrenar un modelo, ya que es el responsable de que se halle el patrón utilizado para realizar predicciones precisas y generalizables. En particular, se utilizó el algoritmo de optimización Adaptive Moment Estimation, también conocido como Adam, ampliamente utilizado por su rápida velocidad de convergencia y eficacia en un gran abanico de problemas. Estas características lo convierten en una opción predeterminada habitual a la hora de entrenar modelos de predicción.

### *VI-D. Diseño experimental*

En la tabla IV se encuentra un resumen con las distintas configuraciones de hiperparámetros utilizadas para la realización de modelos predictivos de prueba. En ella se podrán observar solo los hiperparámetros que recibieron alguna modificación, aquellos no reflejados en la tabla tomaron valores constantes, descritos anteriormente.

Como se podrá observar, el número de modelo no sigue un orden específico. Esto se debe a que las configuraciones presentes en la tabla no son todas las realizadas, sino las que se consideran de mayor relevancia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### *VI-E. Estrategia de prueba*

La etapa de prueba consiste en utilizar modelos entrenados para evaluar su comportamiento sobre datos que no fueron utilizados en su entrenamiento, con el fin de determinar si el resultado del aprendizaje fue adecuado o no. Aquí se evalúan las capacidades de generalización del modelo, o si sólo "memorizó" los datos de entrenamiento.

Como se detalló anteriormente, se realiza pronóstico en otros puntos geográficos además de Municipio de Gualeguaychú, nuestra ubicación de mayor interés. Esto es para poder completar, junto con los datos de distintas fuentes, las variables de entrada. De esta manera, a excepción de la altura en el puerto de la ciudad, se utilizan los datos de salida para "realimentar" el modelo, generando pronósticos con un horizonte más amplio. De no hacerlo, sólo se podría generar pronóstico con un horizonte de una cantidad fija de horas (usualmente, la misma cantidad de observaciones de entrada, $tw$).

Por lo tanto, la estrategia de prueba utilizada fue la siguiente: en un primer momento, se ingresan al modelo los últimos $tw$ datos de cada una de las variables de entrada, una vez generado el primer pronóstico, se toman los últimos $tw-1$ datos y el primer pronóstico realizado, luego los últimos $tw-2$ datos y los dos pronósticos obtenidos. Se continúa con este patrón hasta terminar todos los datos de prueba posibles. Tener en cuenta que los pronósticos solo son de las variables de salida del modelo, el resto son datos reales de mediciones históricas.

Como se describió en el párrafo anterior, para generar pronósticos de prueba se utilizan las salidas del modelo, que son pronósticos con un cierto error asociado. Es de esperar, entonces, que el error de predicción se vea incrementado al realizar una predicción sobre un instante más lejano en el tiempo, dado que la imprecisión se acumula al realimentar al modelo con sus mismas predicciones.

### *VI-F. Resultados de las pruebas de concepto*

Las figuras 3, 4 y 5 muestran mapas de calor donde se reflejan los resultados obtenidos para cada configuración del modelo en cada uno de los puntos geográficos predichos. Estos valores son obtenidos a partir de la predicción en registros pertenecientes al conjunto de pruebas. Debido a que cada bloque temporal utilizado para calcular las métricas de error y sesgo abarca una cantidad de días mucho mayor a aquel horizonte de pronóstico utilizado en un escenario real, se obtuvieron valores de desempeño para tres casos distintos: Pronóstico sobre el total de los periodos, pronóstico a 4 días y pronóstico a 7 días. Estos dos últimos son más representativos del rendimiento del modelo operativo.

En el mapa de la izquierda se puede observar el error en unidades de metros ($m$), mientras que en el restante se refleja el sesgo de la predicción en las mismas unidades. La cantidad de días en evaluación queda reflejado en el título de cada mapa de calor.

Para ambas métricas, el mejor escenario es aquel donde el valor es cero. Para evaluar el error, se utilizó la métrica calculada como la raíz del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés). En cuanto al sesgo, se dice que el modelo subestima si, en promedio, los resultados de las predicciones son menores a los valores reales, mientras que sobreestima en caso contrario. De manera visual, las subestimaciones se reflejan con colores rojos y las sobreestimaciones, con azul.

### *VI-G. Análisis del error*

En el primer caso, donde se considera todo cada bloque temporal completo, el desempeño de los distintos modelos es similar para cada una de las ubicaciones. Por otro lado, en los escenarios con un horizonte de pronóstico más realista destacan los modelos 7, 8 y 12 con resultados similares en Boca Gualeguaychú y en el puerto de la ciudad, aunque los primeros dos muestran un mejor rendimiento en los cruces del río con Ruta Provincial 39 y Ruta Nacional 14.

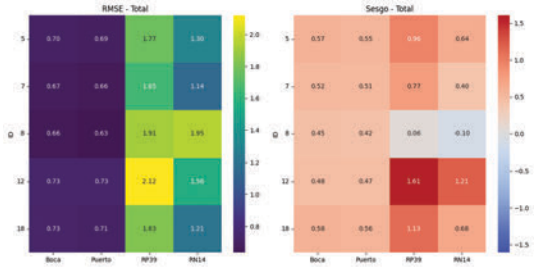



Figura 3: Error y sesgo total

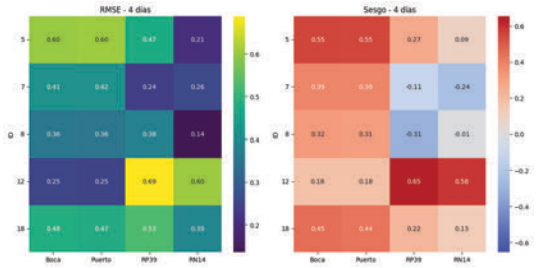



Figura 4: Error y sesgo a 4 días

### *VI-H. Análisis del sesgo*

En cuanto al sesgo, se observa una tendencia a la subestimación en todos los puntos geográficos en todos los escenarios analizados, a excepción de los modelos 7 y 8 con horizontes de pronóstico a 4 y 7 días, que presentan sobreestimaciones en las ubicaciones de Ruta Provincial 39 y Ruta Nacional 14. En particular, cuando se analiza el periodo de tiempo completo, se destaca el modelo número 8, con valores cercanos a cero. Por otro lado, cuando el pronóstico realizado corresponde a una menor cantidad de días, los modelos que muestran un menor sesgo son el 7, 8 y 12. El modelo 12 presenta las menores subestimaciones tanto para Boca Gualeguaychú como para el puerto, aunque se acentúa el sesgo en el resto de puntos geográficos. Los modelos 7 y 8 presentan un sesgo ligeramente mayor en Boca y en puerto, aunque disminuye en el resto de puntos en comparación con el modelo 12.

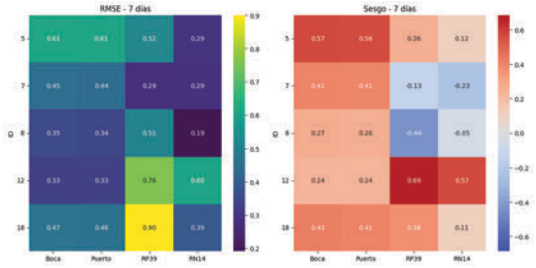



Figura 5: Error y sesgo a 7 días

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



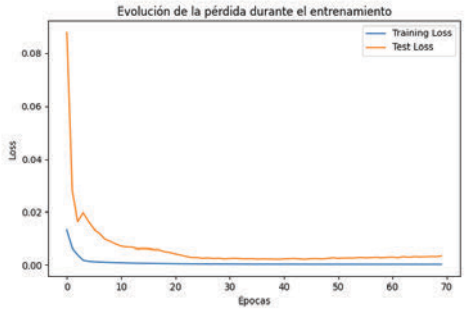



Figura 6: Evolución del error modelo 7

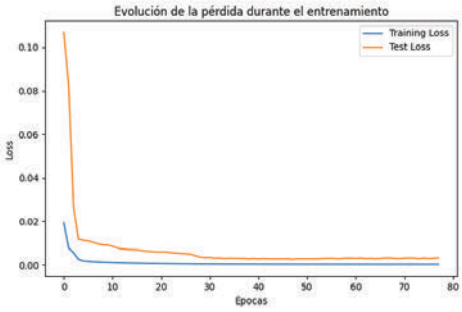



Figura 7: Evolución del error modelo 8

### *VI-I. Conclusiones de las pruebas de concepto*

De todo esto se puede concluir que los modelos 7 y 8 son los que presentan mejor desempeño, ya que, en términos generales, son los que presentan menor valor de error en todos los puntos geográficos y, a su vez, no tienen grandes valores de sesgo. Ambos modelos tienen un tamaño de ventana de 48 hs, se benefician de la técnica de reordenamiento y tienen una cantidad de neuronas similares por capa. Se puede considerar, entonces, que esta es una buena configuración. Desde otro punto de vista, disminuir la cantidad de neuronas por capa (como en el modelo 5), no permite que el modelo realice una correcta generalización. Asimismo, modificar el tamaño de ventana a 24 o 72 horas no mejora los resultados obtenidos, sino lo contrario. Es razonable intuir que, a mayor tamaño de ventana, mejor pronóstico. Sin embargo, los resultados reflejan lo contrario, y esto puede deberse a que un mayor tamaño de ventana implica menor cantidad de datos utilizables para el entrenamiento, producto de la falta de registros a lo largo del tiempo.

## VII. Resultados

En la sección previa se analizaron distintas configuraciones de modelo, de los resultados obtenidos se concluye que los modelos que presentan mejor desempeño son el número 7 y el 8. Es de interés analizar el rendimiento que tuvo cada uno de estos modelos a lo largo del entrenamiento, para luego estudiar los valores de predicción que genera el modelo en contraste con los datos reales históricos del conjunto de prueba, es decir, registros que el modelo no utilizó para su entrenamiento.

### *VII-A. Entrenamiento*

En las gráficas 6 y 7 se puede observar dos curvas, donde se refleja la evolución del error de los modelos 7 y 8, respectivamente. En color azul se representa la evolución del error durante el proceso de entrenamiento sobre los datos pertenecientes al conjunto denominado de entrenamiento, mientras que en naranja queda reflejada dicha evolución del error sobre el conjunto de validación. Lo esperado a lo largo del entrenamiento es que la curva de error en registros de validación se aproxime lo más posible a la propia de error en datos de entrenamiento, como se puede observar que ocurre. Esto, junto con el hecho de que ambas curvas obtengan valores cada vez más pequeños, indica que el modelo logra aprender correctamente el patrón que domina a los datos.

### *VII-B. Pruebas*

Como se detalló, el modelo presenta buen desempeño a lo largo de su etapa de entrenamiento, disminuyendo el error y, por lo tanto, aumentando la precisión de las predicciones. Sin embargo, esto no implica que el modelo realice una correcta generalización en datos que nunca utilizó. Esto es, en mediciones del conjunto de pruebas.

En la figura 8 quedan reflejados ejemplos de pronósticos realizados por los modelos para algunas de sus variables de salida, en los distintos bloques temporales del conjunto de pruebas, información reflejada en la parte superior de cada imagen. El eje vertical corresponde a la altura del punto geográfico de salida, mientras que el eje horizontal al horizonte del pronóstico medido en horas. La curva azul corresponde a los valores reales, mientras que la naranja a aquellos pronosticados por el modelo correspondiente. Asimismo, es posible visualizar líneas verticales punteadas, que reflejan el paso de 24 horas, lo que nos ayuda a dimensionar la cantidad de días en análisis.

En las gráficas se puede visualizar cómo, para ambos modelos, los valores de predicción se encuentran cercanos a los valores reales para las ubicaciones de Boca y Puerto Gualeguaychú. Esto confirma los pequeños valores de error discutidos en los mapas de calor de secciones anteriores. Como se detalló anteriormente, es de esperar que el pronóstico se aleje cada vez más del valor real mientras más se avance en el tiempo, dado que la salida del modelo vuelve a ingresar en forma de entrada. Tampoco debería asombrar que los resultados más alejados de la realidad corresponden a los puntos geográficos de Ruta Nacional 14 y Ruta Provincial 39, debido a la escasa capacidad de predictibilidad en base a las entradas del modelo. Sin embargo, los resultados son alentadores, teniendo en cuenta que se muestran pronósticos con un horizonte entre 25 y 54 días, ventanas de tiempo que son, por mucho, mayores que las pretendidas de 4 a 7 días.

## VIII. Amenazas a la validez

A lo largo de las secciones anteriores se analizaron los distintos valores de error y sesgo obtenidos de los pronósticos de los modelos con distintas configuraciones de hiperparámetros. Luego, sobre aquellos que arrojaron un mejor desempeño, se estudió en mayor profundidad su comportamiento durante el entrenamiento y las predicciones puntuales frente a los datos históricos, validando lo que previamente se resaltó al observar los pequeños valores de error: los resultados de los modelos son alentadores.

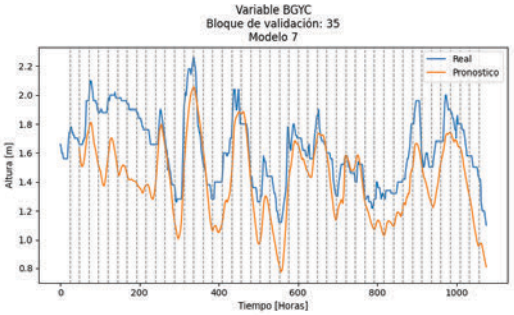
Sin embargo, es razonable cuestionar si esta validación realmente evidencia que el comportamiento del modelo operativo, esto es, el utilizado diariamente, será igual de efectivo. A continuación identificamos distintas amenazas que pueden afectar la validez del análisis realizado.

### *VIII-A. Utilización de pronósticos metereológicos*

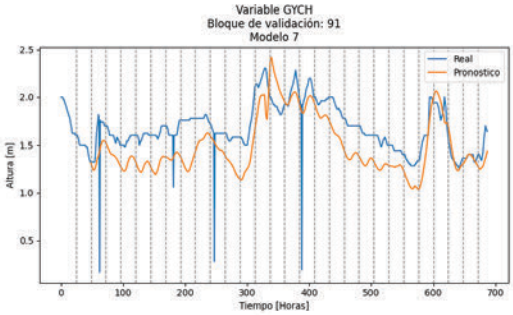
Recordemos que, fuera del área de pruebas, el modelo tomará como entradas distintos valores de pronóstico, que tienen un error asociado. Esto, por tanto, nos da un indicio de que la precisión puede caer, dada la imprecisión de los datos de entrada. Es necesario

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

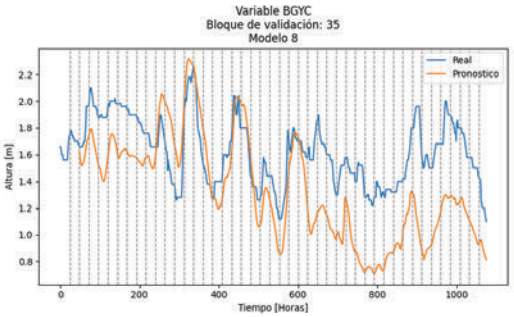




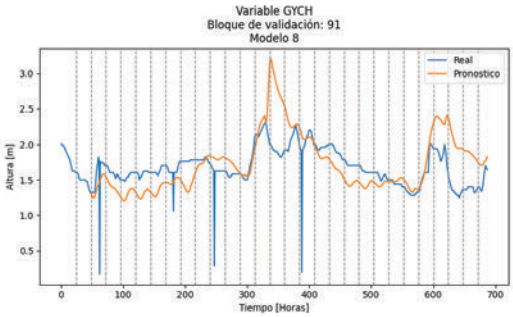

Pronóstico Boca Gualeguaychú - Modelo 7



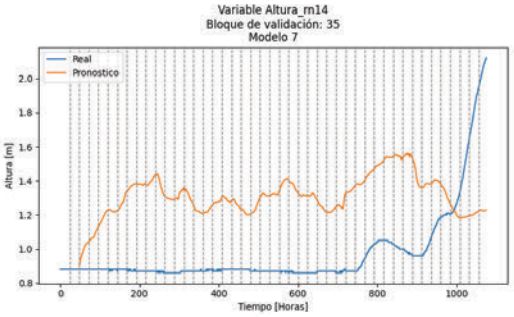

Pronóstico Puerto Gualeguaychú - Modelo 7



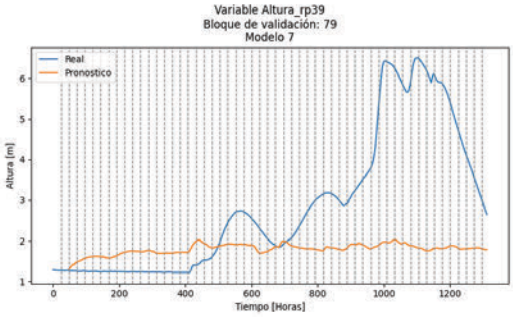

Pronóstico Boca Gualeguaychú - Modelo 8



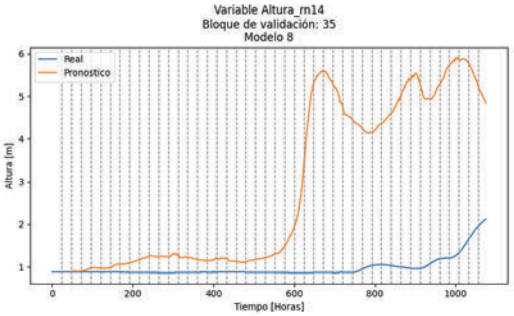

Pronóstico Puerto Gualeguaychú - Modelo 8



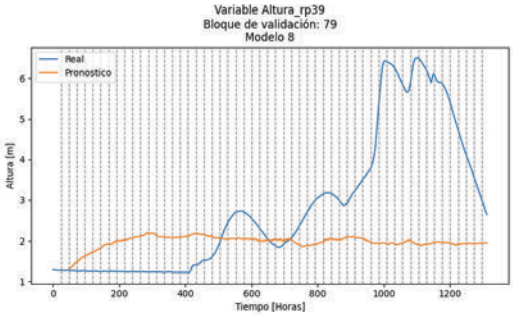

Pronóstico Ruta Nacional 14 - Modelo 7




Pronóstico Ruta Provincial 39 - Modelo 7




Pronóstico Ruta Nacional 14 - Modelo 8




Pronóstico Ruta Provincial 39 - Modelo 8

Figura 8: Pronósticos de prueba

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



informar a los tomadores de decisiones sobre esta posible imprecisión a través de visualizaciones adecuadas.

### *VIII-B. Calidad y cantidad de los datos*

Si bien se utilizaron distintas técnicas para el curado de los datos, es importante destacar que todos son del tipo *últimos registros*, es decir, mediciones sin revisión. Se utilizaron estos datos debido a que el periodo sobre el que se disponen los datos es relativamente corto, de modo que, al incrementar la frecuencia, aumenta la cantidad de datos utilizables.

Otro aspecto importante a considerar es que hay muchos períodos con faltantes de datos, ubicados de manera heterogénea según la fuente. Esto complica mucho el armado del conjunto de datos de entrenamiento, ya que para poder utilizar un registro este debe estar completo, esto es, debe existir el registro en todas las fuentes simultáneamente. Por esta razón es de esperar que, al incrementar la calidad y cantidad de los datos, el modelo se comporte mejor.

### *VIII-C. Exhaustividad de las pruebas*

La clase de red utilizada, la configuración de los hiperparámetros y del método de entrenamiento se encuentra determinada según las recomendaciones del estado del arte. No obstante, es posible que no se hayan realizado pruebas suficientes variando el tipo de red (por caso, utilizando *Gated Recurrent Unit* en lugar de LSTM) o no se haya hecho un barrido exhaustivo sobre las configuraciones de red y método de entrenamiento. Por tanto, es posible que el modelo mejore su precisión en futuras revisiones.

### *VIII-D. Suficiencia de poder explicativo*

La selección de las variables de entrada utilizadas por el modelo estuvo fuertemente restringida por la disponibilidad de los datos. En este sentido, las imprecisiones del modelo pueden deberse a la falta de alguna variable explicativa, ya sea sobre magnitudes consideradas (por caso, altura del río Uruguay en otros puntos) o sobre otros datos (por ejemplo, temperatura o época del año). Es esperable que el modelo mejore su precisión al integrar más variables al modelo que incidan sobre el nivel del río.

## IX. La precisión en los pronósticos

Los pronósticos son estimaciones sobre el valor que tomará una variable aleatoria en el futuro [11]. Si el pronóstico consiste en un único valor, la estimación se denomina *puntual*. De cierto modo, tal estimación es el valor de mayor verosimilitud para la variable en un contexto de información dado. En este sentido, se dice que una estimación es precisa en la medida en que el valor predicho coincide con el valor real, y la diferencia entre tales valores se denomina *error*. Se presentan, entonces, dos posibles formas de representar la precisión del pronóstico realizado.

La *previsibilidad* es la estimación de la precisión de una previsión. Ella tiene en cuenta las incertidumbres del proceso, en este caso, aquellas sobre la presión, la precipitación, la temperatura, el viento, los modelos a gran escala y las inconsistencias del clima. A fines prácticos, la previsibilidad puede interpretarse según los siguientes rangos:

- 80-100 %: Previsión fiable, muy poco probable que cambie.
- 60-80 %: Previsión bastante fiable, poco probable que cambie.
- 40-60 %: Previsión algo incierta, posibles cambios.
- 20-40 %: Previsión bastante incierta, susceptible de cambiar.
- 0-20 %: Previsión incierta, muy probable que cambie.

Cabe destacar que el valor de previsibilidad dado informa sobre todas las variables. En una previsión con 90 % de previsibilidad, todas las variables cambian con un 10 % de probabilidad, o 4 de 5 variables no cambian al 100 % de probabilidad, y una variable (por ejemplo, precipitación) cambia con un 50 % de probabilidad. De esto se deduce que la previsibilidad global (agregada) se calcula como la media aritmética de las previsibilidades individuales.

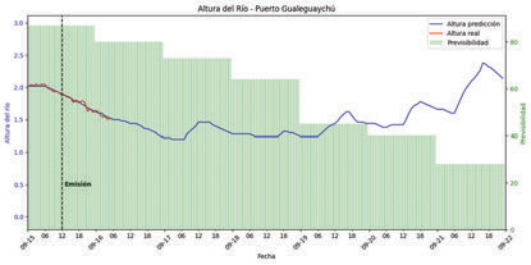



Figura 9: Estimación puntual con nivel de previsibilidad

Por otro lado, es posible utilizar una *banda de error*, dentro de la cual, se supone, el valor esperado pertenecerá con un cierto nivel de confianza (por caso, con una probabilidad de 0.95). Esta estimación se denomina intervalar, y puede ser útil para el cálculo de distintos escenarios.

### *IX-A. Visualización informada sobre la incertidumbre*

Sin importar la manera en la que se represente la precisión del modelo, debe quedar claro que cuando se usan pronósticos, como en el caso que nos interesa de la predicción del nivel del río Gualeguaychú, la imprecisión propia del modelo predictivo se suma a la incertidumbre de los pronósticos que utiliza para realizar tal predicción en forma de variable de entrada. En este sentido, cuanto más precisos sean los pronósticos, lo esperable es que mayor sea la precisión de nuestro modelo.

Dado que la imprecisión de los pronósticos puede sabotear la precisión del modelo, es necesario informar al usuario-decisor sobre tal imprecisión. En esta sección se proponen dos maneras de informar sobre esta incertidumbre, tanto en el caso de estimaciones puntuales como intervalares.

Para graficar la predicción del modelo hay dos aspectos a tener en cuenta. En primer lugar, debería diferenciarse entre las observaciones reales y las predicciones del modelo. Esto se puede realizar utilizando distintos colores para los datos reales y los predichos. También se puede incluir una línea vertical que marque el tiempo en el que la predicción fue realizada. El segundo aspecto a tener en cuenta es la incertidumbre (imprecisión) propia de los pronósticos utilizados en los cálculos.

Por lo tanto, se realizan tres tipos de gráficos propuesta para la información de la incertidumbre al tomador de decisiones.

### *IX-B. Estimación puntual con nivel de previsibilidad*

Por un lado, se propone una imagen en donde sea posible visualizar el nivel de previsibilidad a través de distintas bandas verticales, junto con el pronóstico realizado, la fecha de emisión y los valores reales medidos.

En la figura 9 se ve reflejada tal propuesta. En ella, se puede observar en color rojo la altura real medida, en azul la predicción, en verde la previsibilidad existente y en negro la fecha de emisión.

### *IX-C. Estimación intervalar mediante banda de error*

Una estimación intervalar provee dos valores extremos de posibilidad. Tales valores son referidos como mínimo y máximo. La banda de error determinada por tales valores puede extenderse a través del modelo, esto es, realizar la predicción alimentando al modelo con los valores mínimo y máximo, para de esta manera obtener dos predicciones que constituirán la banda de error del modelo. La forma de visualizar la banda es a través del área comprendida entre los dos resultados. Si, además, se cuenta con un pronóstico de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



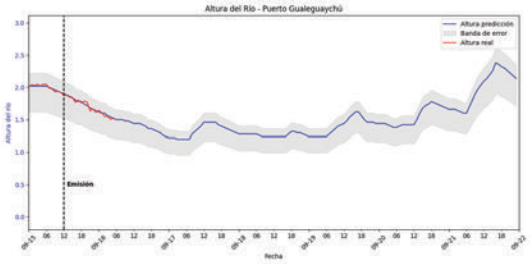



Figura 10: Estimación intervalar mediante banda de error

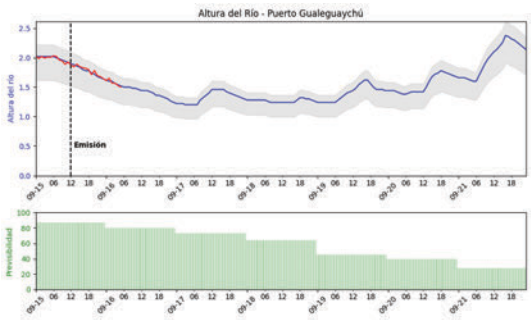



Figura 11: Estimación puntual e intervalar

mayor probabilidad, este puede agregarse al gráfico con una línea de diferente color.

En la figura 10 es posible visualizar la propuesta de gráfico que incluye una banda de error, representada en color gris.

### *IX-D. Estimación puntual e intervalar*

Una tercera opción para visualizar la incertidumbre asociada al pronóstico realizado mediante el modelo computacional consta de unir ambas técnicas anteriormente nombradas, visualización de previsibilidad y banda de error, en dos gráficos apilados. Si bien existen más elementos a tener en cuenta dentro de la imagen, esta opción refleja por completo toda la información que se deberá tener en cuenta a la hora de utilizar los valores de pronósticos obtenidos.

Esta última propuesta se ve reflejada en la figura 11.

## X. Conclusiones

Se ha presentado la construcción de un conjunto de datos para la predicción de la altura del río Gualeguaychú en varios puntos geográficos. Los datos provienen de fuentes abiertas disponibles en la web. Según lo estudiado en este trabajo, la calidad, cantidad y disponibilidad de los datos es mejorable, pero suficiente para una prueba de concepto que funciona como análisis de factibilidad técnica. En este sentido, se ha entrenado un modelo basado en redes neuronales LSTM, que han demostrado especial capacidad para problemas secuenciales y de series temporales, exhibiendo valores de error y sesgo alentadores, aunque con algunas amenazas a la validez que son debidamente identificadas en el trabajo. Por último, debido a la incertidumbre de los pronósticos que serán utilizados en el escenario operativo pretendido, se ha propuesto una visualización de las predicciones que informa sobre la incertidumbre en las estimaciones de las variables de entrada del modelo, como las precipitaciones, dirección del viento y velocidad del viento.

Como trabajos futuros se plantea la instalación de sensores redundantes en puntos estratégicos que midan tanto el nivel del río como los fenómenos meteorológicos de interés. A través de ello se espera contar con más datos y de mayor calidad que permitan mejorar la precisión, así como probar con otros modelos disponibles en el estado del arte.

## Referencias

[1] "Cuenca del río gualeguaychú," https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/46.pdf, accedido por última vez el 11/09/2025 a las 13:53.

[2] F. X. Pereyra, V. Baumann, P. S. Boujon, y M. Elissondo, "Carta de peligrosidad geológica 3360-iv y 3357-iii: Gualeguaychú," Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Tech. Rep., 2009.

[3] "Sistema nacional de información hídrica," https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/hidricas/base-de-datos-hidrologica-integrada, accedido por última vez el 11/09/2025 a las 23:53.

[4] S. Haykin, *Neural networks and learning machines, 3/E*. Pearson Education India, 2009.

[5] R. C. Staudemeyer y E. R. Morris, "Understanding lstm – a tutorial into long short-term memory recurrent neural networks," 2019. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/1909.09586

[6] A. Zhang, Z. C. Lipton, M. Li, y A. J. Smola, *Dive into deep learning*. Cambridge University Press, 2023.

[7] A. Mosavi, P. Ozturk, y K.-w. Chau, "Flood prediction using machine learning models: Literature review," *Water*, vol. 10, no. 11, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.mdpi.com/2073-4441/10/11/1536

[8] B. Kim, B. F. Sanders, J. S. Famiglietti, y V. Guinot, "Urban flood modeling with porous shallow-water equations: A case study of model errors in the presence of anisotropic porosity," *Journal of Hydrology*, vol. 523, págs. 680–692, 2015.

[9] T. Grandi y C. Casanova, http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17406923, Sep. 2025, conjunto de datos para la Predicción del Nivel del Río Gualeguaychú.

[10] G. E. Hinton, N. Srivastava, A. Krizhevsky, I. Sutskever, y R. R. Salakhutdinov, "Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors," 2012. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/1207.0580

[11] B. Pochiraju y S. Seshadri, *Essentials of business analytics: An Introduction to the Methodology and its Applications*. Springer, 2019, vol. 264, international Series in Operations Research & Management Science.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Análisis predictivo del precio de Bitcoin a partir del interés de búsquedas en Google Trends mediante técnicas de Deep Learning

*Federico Nicolas Escudero[1], Miguel Méndez Garabetti[1,2]*
*[1]Departamento de Posgrados, Universidad CAECE, Mar del Plata, Argentina*
*[2]Free and Open Source Software/Hardware Research Laboratory (FOSSHLab), Argentina*
*federiconicolasescudero@gmail.com - mmendezgarabetti@ucaecemdp.edu.ar*

## Resumen

*Este trabajo presenta un enfoque para la predicción del precio de cierre de Bitcoin mediante modelos de Deep Learning aplicados a series temporales multivariadas. Se construyó un conjunto de datos que integra variables financieras (precio, volumen, índice S&P 500) y métricas de interés social provenientes de Google Trends. Se evaluaron distintas arquitecturas neuronales —LSTM, GRU, CNN 1D, RNN simple, Transformer y un modelo híbrido LSTM + Transformer— junto con dos modelos de referencia (Naïve Forecast y Regresión Lineal) para dimensionar el aporte real de las arquitecturas avanzadas.*

*La validación se realizó mediante un esquema walk forward con tres divisiones temporales, complementado con entrenamientos sobre la totalidad de los datos y posterior evaluación en un conjunto de prueba independiente nunca visto. Las métricas utilizadas incluyeron MSE, RMSE, MAE, $R^2$, MAPE y SMAPE.*

*Los resultados muestran que el modelo híbrido LSTM + Transformer obtuvo el mejor desempeño en términos de error absoluto y porcentual bajo validación secuencial, mientras que el Transformer puro se destacó por su robustez y consistencia al entrenarse con todos los datos. Los modelos base captaron parcialmente la tendencia de la serie pero fueron ampliamente superados por las arquitecturas modernas, confirmando su mayor capacidad para modelar dependencias no lineales de largo plazo. Este estudio resalta la importancia de contrastar redes neuronales profundas con predictores simples y plantea futuras líneas de investigación orientadas a datos de alta frecuencia, incorporación de fuentes textuales mediante NLP y optimización de hiperparámetros con técnicas más eficientes.*

**Palabras clave:** Criptomonedas, Deep Learning, Predicción de series temporales.

## 1. Introducción

El mercado de criptomonedas ha experimentado un crecimiento exponencial en la última década, consolidándose como un activo financiero de alta volatilidad y atractivo para inversores y académicos. En particular, Bitcoin se ha posicionado como la criptomoneda de mayor capitalización y volumen de transacciones, pero su comportamiento especulativo dificulta la aplicación de métodos tradicionales de pronóstico [1]. Anticipar sus fluctuaciones representa un desafío relevante tanto para la gestión de riesgos como para el desarrollo de herramientas de apoyo a la decisión en entornos financieros [2],[3].

En los últimos años, la literatura ha propuesto diferentes enfoques para predecir precios de activos financieros. Los modelos clásicos de series temporales, como ARIMA o modelos autorregresivos, han mostrado limitaciones para capturar la alta no linealidad y las dependencias de largo plazo presentes en mercados volátiles [2],[4]. En paralelo, el aprendizaje profundo (Deep Learning) ha demostrado una mayor capacidad para modelar relaciones complejas en datos secuenciales, especialmente con arquitecturas recurrentes (LSTM, GRU) y basadas en atención (Transformers) [5-10]. Asimismo, diversos estudios señalan que factores sociales y de comportamiento, medidos a través de fuentes como Google Trends, influyen en la dinámica de los precios de criptomonedas [11-13].

Este trabajo propone un enfoque para la predicción del precio de cierre de Bitcoin mediante modelos de Deep Learning aplicados a series temporales multivariadas. Para ello se construyó un conjunto de datos que integra variables financieras —precio, volumen, índice S&P 500— y métricas de interés social provenientes de Google Trends. Se evaluaron distintas arquitecturas neuronales (LSTM, GRU, CNN 1D, RNN simple, Transformer y un modelo híbrido LSTM + Transformer), incorporando además dos modelos base (Naïve Forecast y Regresión Lineal) para dimensionar el aporte real de las arquitecturas avanzadas. La validación se realizó mediante un esquema walk forward con tres divisiones temporales y un entrenamiento adicional sobre la totalidad de los datos, evaluando posteriormente en un conjunto de prueba independiente nunca visto.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe la metodología empleada, incluyendo el conjunto de datos, el preprocesamiento y los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



modelos considerados. En la Sección 3 se presentan y discuten los resultados obtenidos. Finalmente, la Sección 4 resume las conclusiones del trabajo y plantea posibles líneas de investigación futura.

## 2. Metodología

El presente trabajo adopta una estrategia inspirada en el enfoque CRISP-DM, adaptado a la problemática de predicción de series temporales utilizando modelos de Deep Learning. La metodología se organiza en seis etapas principales: ETL (extracción, transformación y carga), preprocesamiento de los datos, modelado, entrenamiento, predicción y análisis de resultados [14].

En la Figura 1 se resume gráficamente el flujo de trabajo completo. Desde la integración de variables multifuente (Bitcoin, S&P500 e interés de búsqueda en Google Trends) hasta la construcción del dataset estructurado en ventanas temporales, el proceso abarca la preparación del conjunto de datos, la selección y entrenamiento de distintas arquitecturas, la evaluación sobre un conjunto de test independiente y la comparación cuantitativa de resultados.

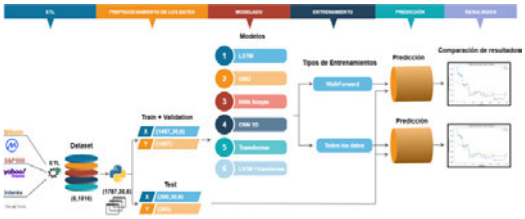



Figura 1. Flujo de trabajo para la predicción del precio de cierre de Bitcoin.

Cada uno de estos bloques metodológicos se desarrolla en las secciones siguientes, abordando tanto la implementación técnica como las decisiones de diseño tomadas en cada etapa.

### 2.1. Conjunto de datos

El conjunto de datos utilizado en este trabajo corresponde a una serie temporal diaria del precio de cierre de Bitcoin obtenida Yahoo Finance y CoinMarketCap para el período comprendido entre principios de 2018 y finales de 2023. En total se recopilaron 1787 registros diarios, de los cuales 1487 se emplearon para entrenamiento y validación y 300 se reservaron como conjunto de prueba independiente no visto en ninguna etapa del modelado.




Figura 2. Gráfico del precio semanal de Bitcoin (2014-2024).

Para enriquecer las señales predictoras se integraron variables financieras tradicionales y métricas de interés social:

- Variables financieras de Bitcoin: precio de apertura, precio máximo, precio mínimo, precio de cierre y volumen diario de transacciones.
- Índice S&P 500: utilizado como referencia del mercado tradicional para capturar posibles correlaciones con activos de riesgo.
- Interés social en Google Trends: se extrajeron series normalizadas de volumen de búsquedas de términos relacionados con “Bitcoin” como proxy del sentimiento y atención pública.

Cada una de estas series se sincronizó temporalmente para generar un conjunto multivariado consistente. Las series con días sin información —en particular el índice S&P 500 que no opera fines de semana ni feriados— se completaron mediante imputación por forward fill, asignando el último valor válido disponible al día sin registro. Esta técnica conserva la continuidad de la serie temporal sin introducir estimaciones arbitrarias.

Finalmente, para alimentar los modelos se construyeron ventanas deslizantes de 30 días para cada variable predictora, generando como etiqueta el precio de cierre de Bitcoin del día siguiente. Este procedimiento resultó en una matriz de características de tamaño (n_muestras, n_variables × 30) para cada muestra, lo que permite capturar dependencias temporales en un horizonte de un mes.

### 2.2. Preprocesamiento de datos

Antes de entrenar los modelos, las series temporales fueron sometidas a un proceso de limpieza y normalización para garantizar la coherencia de las entradas y maximizar la estabilidad del aprendizaje. Las principales etapas fueron las siguientes:

#### 2.2.1. Sincronización temporal y tratamiento de valores faltantes

Todas las series se alinearon en un mismo eje temporal diario. Dado que el índice S&P 500 no opera fines de semana ni feriados, se generaban lagunas en esos días.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para resolverlo se aplicó la técnica de forward fill, imputando en cada fecha sin registro el último valor válido observado. Este procedimiento mantiene la continuidad de la serie sin introducir interpolaciones arbitrarias y refleja la inercia del índice en días no operativos.

#### 2.2.2. Construcción de ventanas deslizantes

Para capturar dependencias temporales, se implementó un esquema de ventanas de 30 días previos como entrada y el precio de cierre del día siguiente como variable objetivo. De este modo, cada muestra del conjunto de datos está formada por un bloque de observaciones multivariadas ordenadas temporalmente.

#### 2.2.3. Normalización de variables

Todas las variables predictoras y la variable objetivo se escalaron en el rango [0,1] utilizando MinMaxScaler de scikit-learn, tomando los parámetros del conjunto de entrenamiento. El uso de escalado uniforme previene la dominancia de variables con magnitudes mayores y acelera la convergencia de los modelos.

Para la evaluación y visualización de resultados, las predicciones fueron posteriormente desescaladas a sus valores originales.

#### 2.2.4. Separación en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba

Se definieron dos esquemas de evaluación:

- Validación tipo walk forward con tres divisiones temporales, para simular un escenario real de predicción secuencial.
- Entrenamiento con la totalidad de los datos disponibles, para analizar el comportamiento de los modelos con máxima información histórica.

En ambos casos se reservaron 300 observaciones finales como conjunto de prueba independiente.

Este proceso asegura que los modelos reciban datos consistentes, escalados y representativos del comportamiento temporal de Bitcoin y de las variables asociadas, minimizando sesgos por filtrado futuro o diferencias de escala.

### 2.3. Modelos propuestos y baselines

Con el fin de evaluar distintas estrategias de predicción del precio de cierre de Bitcoin, se implementó un conjunto de modelos baselines y modelos de Deep Learning. Esta combinación permite dimensionar de manera objetiva la mejora aportada por arquitecturas avanzadas frente a predictores simples.

#### 2.3.1. Modelos baselines.

Se consideraron dos enfoques clásicos para series temporales:

- Naïve Forecast. Este modelo predice que el valor del día siguiente será igual al último valor observado. Aunque extremadamente simple, suele ofrecer resultados competitivos en series con alta autocorrelación y sirve como “piso” de desempeño para comparar los demás modelos.
- Regresión Lineal Múltiple. Como segundo baseline se aplicó la Regresión Lineal Múltiple, un modelo clásico de predicción supervisada que busca establecer una relación lineal entre un conjunto de variables predictoras y la variable objetivo. A diferencia del modelo naïve, la regresión lineal aprovecha información de múltiples características y permite modelar tendencias generales, aunque su capacidad se limita a capturar relaciones estrictamente lineales.

#### 2.3.2. Modelos de Deep Learning.

Se evaluaron seis arquitecturas representativas para predicción de series temporales multivariadas:

- LSTM (Long Short-Term Memory). Redes recurrentes con memoria a largo plazo, adecuadas para dependencias extendidas en el tiempo.
- GRU (Gated Recurrent Unit). Variante más compacta que LSTM, con menor cantidad de parámetros y tiempos de entrenamiento más reducidos.
- RNN simple. Arquitectura recurrente básica sin compuertas, utilizada como control para medir el aporte de las LSTM y GRU.
- CNN 1D. Red convolucional unidimensional para capturar patrones locales en las secuencias, útil para detectar correlaciones de corto plazo.
- Transformer puro. Basado exclusivamente en mecanismos de atención y embeddings posicionales, elimina la recurrencia para modelar dependencias globales de manera paralela.
- Modelo híbrido LSTM + Transformer. Combina la capacidad secuencial de LSTM con la atención global del Transformer, buscando aprovechar lo mejor de ambas aproximaciones.

Todas las arquitecturas fueron implementadas en Python con TensorFlow/Keras, respetando el mismo esquema de entrada y salida (ventanas de 30 días para predecir el precio del día siguiente) y el mismo conjunto de variables para garantizar la comparabilidad

### 2.4. Estrategias de entrenamiento y optimización de hiperparámetros

#### 2.4.1. Validación cruzada tipo Walk Forward:

Se aplicó sobre las primeras 1487 ventanas, dividiéndolas en tres splits secuenciales mediante TimeSeriesSplit(n_splits=3). Este esquema permite evaluar la capacidad predictiva de los modelos manteniendo el orden temporal, simulando escenarios progresivos donde los modelos aprenden con datos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



pasados y son evaluados con datos futuros inmediatos [4][10].

#### 2.4.2. Entrenamiento final del modelo:

Una vez seleccionada la mejor arquitectura y sus hiperparámetros mediante Walk Forward, se procedió a entrenar un modelo definitivo con las 1487 ventanas completas.

#### 2.4.3. Evaluación final sobre datos nunca vistos:

Finalmente, el modelo entrenado se aplicó sobre las 300 ventanas de testeo que no habían sido expuestas al modelo en ninguna fase anterior, permitiendo así medir su capacidad de generalización en un entorno realista, es decir, sobre datos fuera de muestra.

Esta estrategia metodológica asegura una evaluación robusta, evita el sobreajuste y preserva la integridad temporal, lo cual es crucial en problemas de predicción de series temporales como el de precios de criptomonedas.

#### 2.4.4. Optimización de hiperparámetros con validación cruzada temporal

Para seleccionar la mejor configuración de cada modelo, se utilizó GridSearchCV en conjunto con TimeSeriesSplit, una variante de validación cruzada diseñada específicamente para series temporales. A diferencia de la validación cruzada aleatoria, TimeSeriesSplit divide los datos en múltiples bloques consecutivos, lo que permite evaluar cómo se comporta el modelo al predecir datos futuros sin usar información posterior.

Según Scikit-learn Development Team (2024), esta técnica es más adecuada en contextos financieros donde la variable objetivo depende de su propio pasado. En cada split, el conjunto de entrenamiento crece secuencialmente y la validación se realiza en el bloque temporal siguiente, manteniendo la lógica causal de la serie [15].

#### 2.4.5. Evaluación final con validación Walk Forward

Una vez seleccionados los mejores hiperparámetros, se procedió a la evaluación final del modelo con un enfoque de tipo Walk Forward, que es una extensión natural de TimeSeriesSplit. Este método simuló un escenario realista de producción: el modelo es entrenado con datos históricos disponibles en ese momento y se valida con datos futuros que "aún no han ocurrido".

En este caso, se utilizaron tres divisiones secuenciales, desplazando la ventana de entrenamiento y validación en el tiempo. Cada división utilizó una porción creciente de datos para entrenamiento y bloques temporales posteriores para validación. Las siguientes tablas resumen la estructura de cada split:

**Tabla 1. División de secuencias para evaluación final con walk forward**

| División | Secuencias para entrenamiento | Secuencias para validación | Total de secuencias |
|---|---|---|---|
| División 1 | 371 | 371 | 742 |
| División 2 | 742 | 371 | 1113 |
| División 3 | 1113 | 374 | 1487 |

La división se realizó mediante TimeSeriesSplit(n_splits=3) de sklearn, aplicado sobre las primeras 1487 ventanas disponibles.

Este enfoque es crucial por tres motivos:

- Evita fugas de datos: garantiza que la validación se realiza con datos verdaderamente futuros.
- Simula el mundo real: donde las predicciones siempre se basan en datos pasados.
- Genera una evaluación robusta: permite observar la estabilidad del modelo a lo largo del tiempo.

Comparación con entrenamiento con todos los datos

Adicionalmente, para contrastar el rendimiento obtenido en la evaluación temporal, se entrenaron los modelos usando la totalidad de los datos históricos disponibles con los hiperparámetros previamente seleccionados. Este entrenamiento sin segmentación sirve como límite superior de ajuste del modelo (ajuste ideal), aunque no representa un entorno real de predicción.

La comparación entre ambos enfoques (Walk Forward y Todos los Datos) permitió evaluar el riesgo de sobreajuste y observar la estabilidad del modelo al cambiar las condiciones de entrenamiento. En general, una diferencia leve en métricas sugiere buena generalización, mientras que una mejora excesiva en el modelo "entrenado completo" puede indicar sobreajuste a los datos.

### 2.5. Métricas de evaluación

Para evaluar la capacidad predictiva de los modelos, se calcularon seis métricas complementarias:

- MSE (Mean Squared Error): permite identificar el promedio de los errores al cuadrado, penalizando más severamente aquellos errores de gran magnitud. Esta propiedad es especialmente útil en contextos donde se desea minimizar los desvíos extremos del modelo respecto a los precios reales. Un MSE más bajo indica mejor desempeño.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

- RMSE (Root Mean Squared Error): es la raíz cuadrada del MSE, lo que permite expresar el error en la misma unidad que la variable objetivo (dólares).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esto lo convierte en una métrica fácilmente interpretable y muy utilizada en entornos financieros. Un RMSE bajo implica que el modelo predice valores cercanos a los reales en promedio.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

- MAE (Mean Absolute Error): mide el error promedio absoluto sin penalizar desvíos grandes, por lo cual es más robusto frente a outliers. Esta característica resulta particularmente valiosa en el caso del Bitcoin, cuyo precio puede presentar picos abruptos que afectan negativamente otras métricas más sensibles.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

- $R^2$ (Coeficiente de determinación): evalúa qué proporción de la variabilidad en los precios reales es explicada por el modelo. Su valor oscila entre 0 y 1, siendo más deseable cuanto más se aproxima a 1. Si bien es útil para medir el ajuste global, debe interpretarse con precaución cuando se utilizan modelos complejos o series con fuerte componente estacional.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \underline{y})^2} \quad (4)$$

- MAPE (Mean Absolute Percentage Error): expresa el error como un porcentaje del valor real, permitiendo interpretar el rendimiento en términos relativos. Aunque es intuitivo, puede presentar problemas de estabilidad cuando los valores reales son cercanos a cero, algo que no ocurre con frecuencia en los precios históricos de Bitcoin.

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \times 100 \quad (5)$$

- SMAPE (Symmetric Mean Absolute Percentage Error): es una métrica derivada del MAPE que corrige sus sesgos ante valores pequeños. Divide la diferencia absoluta por el promedio entre valor real y predicho, lo cual asegura simetría. Es una métrica particularmente útil en escenarios de alta fluctuación como las criptomonedas.

$$SMAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|y_i - \hat{y}_i|}{(|y_i| + |\hat{y}_i|)/2} \times 100 \quad (6)$$

Este enfoque permitió desarrollar modelos predictivos robustos, capaces de anticipar con razonable precisión la evolución del precio del Bitcoin a corto plazo, lo que puede ser de utilidad en escenarios de inversión automatizada o análisis financiero avanzado.

## 3. Resultados

### 3.1. Baselines

En el ámbito del aprendizaje automático, resulta fundamental disponer de modelos de referencia simples —conocidos como baselines— para evaluar el desempeño de arquitecturas más complejas. Estos modelos proporcionan un punto de comparación inicial, permitiendo determinar si el uso de técnicas avanzadas como las redes neuronales profundas aporta mejoras significativas frente a estrategias más básicas. En este trabajo se consideraron dos enfoques de referencia: el modelo Naïve Forecast y la Regresión Lineal.

#### 3.1.1. Naïve Forecast

El modelo Naïve Forecast se limitó a proyectar que el precio de cierre del día siguiente sería igual al del día anterior. A pesar de esta simplicidad, los resultados obtenidos fueron competitivos en términos de las métricas de error: un RMSE de 0.0128 y un MAE de 0.0083 (en escala normalizada), junto con un $R^2$ de 0.9884. Estos valores muestran que, debido a la fuerte autocorrelación presente en la serie temporal del Bitcoin, incluso un predictor ingenuo logra capturar gran parte de la dinámica de corto plazo.

En la Fig. 3.6 se aprecia que las predicciones del Naïve Forecast siguen de manera cercana el comportamiento real en la ventana de validación, aunque con limitaciones evidentes en momentos de variaciones abruptas.

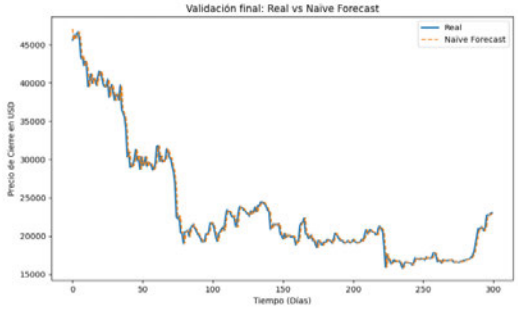



**Figura 3. Evaluación del modelo Naïve Forecast**

#### 3.1.2. Regresión Lineal

El segundo modelo baseline considerado fue la Regresión Lineal multivariable, entrenada sobre las ventanas de 30 días previos para predecir el precio de cierre. Este modelo mejoró los resultados obtenidos por el enfoque ingenuo, alcanzando un RMSE de 0.0056, un MAE de 0.0037 y un $R^2$ de 0.9978. Las métricas porcentuales también reflejan esta superioridad, con un MAPE y SMAPE cercanos al 1.1%.

La Fig. 4 ilustra visualmente este desempeño: la línea predicha se ajusta de manera muy próxima a los valores reales en los 300 días de validación, evidenciando la capacidad de la regresión lineal para modelar dependencias básicas en los datos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



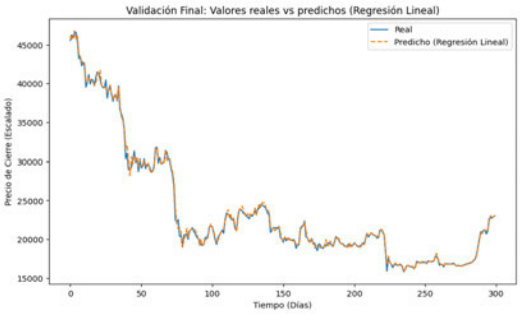



Figura 4. Evaluación del modelo Regresión Lineal

### 3.1.3. Resultados de los baselines

Ambos modelos fueron evaluados bajo las mismas condiciones de validación que los modelos de Deep Learning, aplicando las métricas estándar: MSE, RMSE, MAE, $R^2$, MAPE y SMAPE. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

| Baseline | MSE | RMSE | MAE | $R^2$ | MAPE | SMAPE | TE (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Naïve Forecast | 0.0002 | 0.013 | 0.008 | 0.988 | 2.55% | 2.53% | 0.148 |
| Regresión Lineal | 0.000032 | 0.005 | 0.004 | 0.997 | 1.16% | 1.15% | 0.188 |

Figura 5. Comparativa de resultados de los baselines.

## 3.2. Modelos de Deep Learning

### 3.2.1. LSTM

Las redes LSTM (Long Short-Term Memory) son una arquitectura especializada en el procesamiento de secuencias temporales, ya que pueden retener información de largo plazo gracias a sus celdas de memoria interna. En el presente trabajo se implementó un modelo secuencial utilizando la biblioteca Keras, con una capa LSTM seguida de una capa densa de salida.

Se utilizó un enfoque de ajuste de hiperparámetros mediante GridSearchCV, evaluando distintas combinaciones de unidades, funciones de activación y optimizadores. La validación se realizó con TimeSeriesSplit, respetando la estructura temporal de los datos. El número de épocas y el tamaño del batch también fueron parte de la búsqueda.

La estructura del modelo seleccionado fue la siguiente:

- Capa de entrada: (30, 6)
- LSTM con 64 unidades y activación relu
- Capa densa de salida con una neurona
- Optimizador: Adam
- Función de pérdida: MSE

#### 3.2.1.1. Resultados con parámetros sintonizados en walk forward con 3 splits

El modelo LSTM alcanzó un desempeño moderado en el escenario de validación walk forward. Obtuvo un $R^2$ de 0.636, lo que indica que explicó de manera parcial la variabilidad del precio de cierre de Bitcoin. Los errores absolutos fueron relativamente bajos (RMSE = 0.149, MAE = 0.137), lo que muestra una predicción ajustada en términos de escala. No obstante, los errores relativos se mantuvieron elevados (MAPE = 20.04%, SMAPE = 18.09%), evidenciando que el modelo presenta mayores dificultades en la predicción de movimientos extremos o días atípicos dentro del mercado cripto.

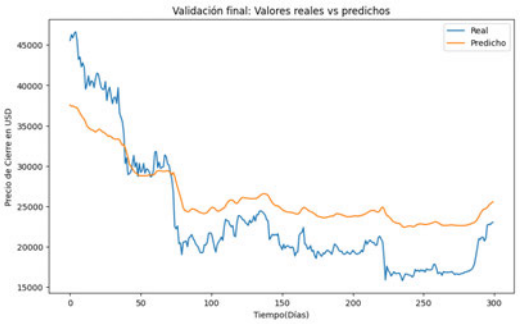



Figura 6. Evaluación del modelo LSTM en walk forward.

#### 3.2.1.2 Resultados con parámetros sintonizados y todos los datos

Al entrenar con la totalidad de las ventanas de entrenamiento, el LSTM mejoró levemente su capacidad predictiva, alcanzando un $R^2$ de 0.661 y reduciendo el MAE a 0.130. El RMSE de 0.147 confirma la estabilidad del modelo en escenarios con mayor disponibilidad de información histórica. Sin embargo, los errores porcentuales (MAPE = 19.14%, SMAPE = 17.59%) se mantuvieron altos, lo que sugiere que, aunque el modelo logra capturar patrones generales de la serie, continúa teniendo limitaciones frente a la fuerte volatilidad del precio de Bitcoin.

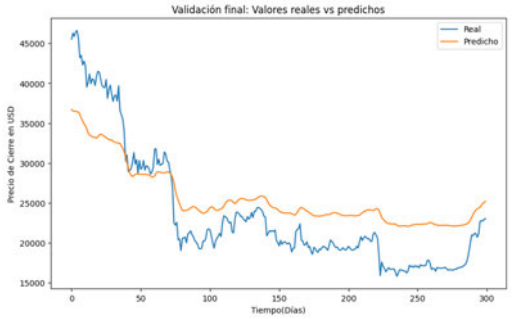



Figura 7. Evaluación del modelo LSTM con todos los datos.

### 3.2.2. GRU

Como alternativa al modelo LSTM, se implementó una red basada en GRU (Gated Recurrent Unit), una arquitectura recurrente que simplifica la estructura de las LSTM, manteniendo su capacidad para capturar dependencias temporales de largo plazo, pero con un menor número de parámetros. Esta característica la hace

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



computacionalmente más eficiente y menos propensa al sobreajuste en datasets moderadamente grandes.

Al igual que con el modelo LSTM, se aplicó un proceso de optimización de hiperparámetros mediante GridSearchCV, usando la función KerasRegressor de scikeras para envolver el modelo. La validación cruzada se llevó a cabo con TimeSeriesSplit, asegurando la no violación de la secuencia temporal de los datos.

Los mejores hiperparámetros seleccionados por el GridSearch incluyeron 64 unidades, activación relu, y optimizador adam. El modelo entrenado mostró una estructura simple pero efectiva:

- Capa de entrada: (30, 6)
- Capa GRU con 64 unidades
- Capa densa de salida con una única neurona
- Función de pérdida: MSE

#### 3.2.2.1. Resultados con parámetros sintonizados en walk forward con 3 splits

El modelo GRU presentó un rendimiento similar al LSTM en el escenario walk forward. Alcanzó un $R^2$ de 0.648, lo que refleja una capacidad aceptable para explicar la varianza del precio de cierre de Bitcoin. Los errores absolutos fueron moderados (RMSE = 0.146, MAE = 0.135), lo que indica que las predicciones se mantuvieron cercanas a los valores reales en términos de escala. En cuanto a los errores relativos, el modelo mostró un MAPE de 19.58% y un SMAPE de 17.77%, sugiriendo que, aunque logra capturar los patrones generales de la serie, presenta limitaciones en la predicción de movimientos bruscos característicos del mercado cripto.

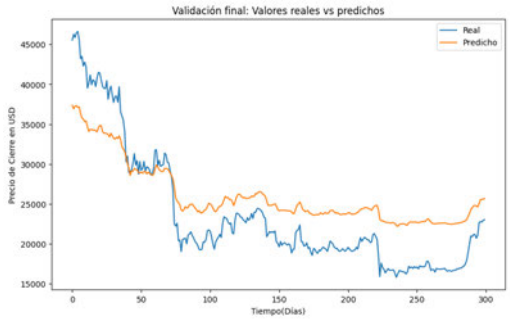



Figura 8. Evaluación del modelo GRU en walk forward.

#### 3.2.2.2 Resultados con parámetros sintonizados y todos los datos

Al entrenar con la totalidad de las ventanas disponibles, la GRU mantuvo un desempeño consistente y ligeramente mejorado. El $R^2$ aumentó a 0.652, acompañado de una leve reducción en los errores absolutos (MAE = 0.133, RMSE = 0.147). En términos relativos, los valores de error porcentual se redujeron marginalmente (MAPE = 19.22%, SMAPE = 17.57%), confirmando una mayor estabilidad del modelo con un mayor volumen de información. Este comportamiento evidencia que la GRU, además de ser computacionalmente más ligera que LSTM, conserva un rendimiento competitivo y con tendencia a mejorar en contextos de entrenamiento más extensos.

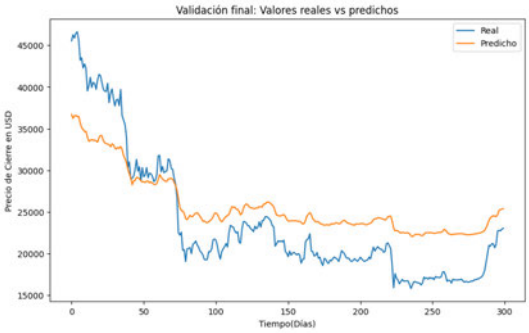



Figura 9. Evaluación del modelo GRU con todos los datos.

### 3.2.3. CNN (Convolutional Neural Network)

Aunque las redes convolucionales son comúnmente utilizadas en tareas de visión por computadora, también pueden aplicarse de forma efectiva a series temporales mediante convoluciones unidimensionales (1D). Tal como se comenta en secciones anteriores, se implementó una red Conv1D, orientada a detectar patrones locales de corto plazo en secuencias de 30 días del precio de Bitcoin y sus variables asociadas.

Esta red incorpora los siguientes componentes:

- Capa convolucional 1D (Conv1D) con filtros y ventana deslizante para extraer patrones locales.
- MaxPooling1D para reducir la dimensionalidad temporal y extraer las características más relevantes.
- Dropout como técnica de regularización para evitar el sobreajuste.
- Capa densa totalmente conectada previa a la salida.
- Capa de salida con una única neurona para la predicción del precio.

El entrenamiento del modelo se llevó a cabo usando el optimizador Adam y la función de pérdida MSE. Los hiperparámetros fueron ajustados utilizando GridSearchCV, considerando distintos valores de filtros, funciones de activación, tamaño del kernel y tasa de dropout.

#### 3.2.3.1 Resultados con parámetros sintonizados en walk forward con 3 splits

El modelo CNN 1D presentó un rendimiento más limitado en comparación con las arquitecturas recurrentes. En el esquema walk forward, alcanzó un $R^2$ de 0.552, lo que refleja una capacidad reducida para explicar la varianza del precio de cierre de Bitcoin. Los errores absolutos fueron relativamente altos (RMSE = 0.157, MAE = 0.151), y los errores porcentuales (MAPE =

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



22.05%, SMAPE = 19.73%) confirmaron dificultades en capturar la dinámica de la serie, especialmente en los movimientos más abruptos. Estos resultados evidencian que la CNN, aunque adecuada para la detección de patrones locales, no resulta tan efectiva en la modelización de dependencias de largo plazo en series temporales financieras.

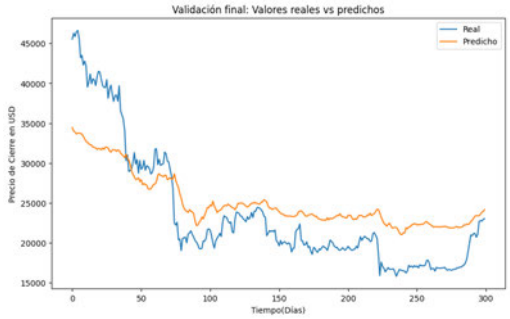



Figura 10. Evaluación del modelo CNN en walk forward.

### 3.2.3.2. Resultados con parámetros sintonizados y todos los datos

Cuando se entrenó con la totalidad de los datos, la CNN mostró una mejora notable en su desempeño. El $R^2$ aumentó a 0.669, y los errores absolutos disminuyeron (MAE = 0.128, RMSE = 0.148). Asimismo, los errores relativos descendieron a MAPE = 18.59% y SMAPE = 17.03%, lo que indica que disponer de mayor información temporal permitió al modelo mejorar su capacidad de ajuste y reducir la magnitud de los errores en la validación final.

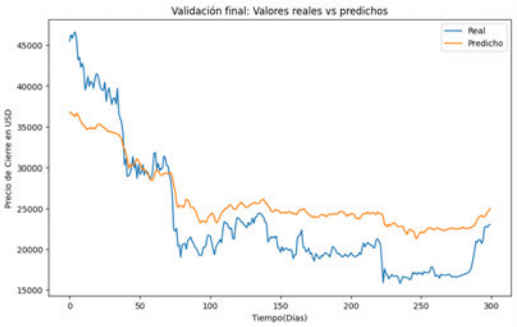



Figura 11. Evaluación del modelo CNN con todos los datos.

### 3.2.4. RNN simple (Recurrent Neural Network)

Con el fin de establecer una línea base, se implementó una red RNN simple, una arquitectura clásica de redes neuronales recurrentes que procesa las secuencias paso a paso, manteniendo un estado oculto que se actualiza con cada elemento de la secuencia. Aunque este tipo de red ha sido en gran parte reemplazada por variantes como LSTM y GRU, su simplicidad la convierte en una herramienta útil para comparar rendimientos y comprender los beneficios de las arquitecturas más complejas.

Este modelo se entrenó utilizando la misma configuración de datos y particionado que los demás, aplicando validación cruzada con TimeSeriesSplit y optimización de hiperparámetros mediante GridSearchCV. Los parámetros evaluados incluyeron número de unidades (units), tipo de activación y optimizador.

- La estructura de la red fue la siguiente:
- Capa de entrada: (30, 6)
- Capa SimpleRNN con 64 unidades y activación relu
- Capa de salida Dense(1)
- Optimizador: Adam
- Función de pérdida: MSE

#### 3.2.4.1 Resultados con parámetros sintonizados en walk forward con 3 splits

La RNN simple alcanzó un desempeño destacable en el esquema walk forward. Obtuvo un $R^2$ de 0.712, el más alto entre las arquitecturas básicas, acompañado de errores absolutos bajos (RMSE = 0.153, MAE = 0.120). Los errores relativos también fueron favorables (MAPE = 17.44%, SMAPE = 15.64%), lo que sugiere que, a pesar de su simplicidad, la RNN fue capaz de capturar de forma efectiva la dinámica de corto plazo del precio de cierre de Bitcoin en un contexto de validación estricta.

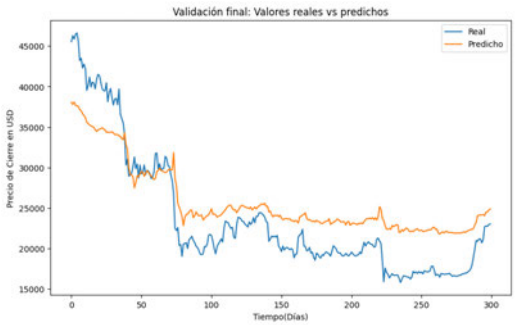



Figura 12. Evaluación del modelo RNN en walk forward.

#### 3.2.4.2 Resultados con parámetros sintonizados y todos los datos

Al entrenarse con la totalidad de los datos, el desempeño de la RNN simple se redujo de manera significativa. El $R^2$ descendió a 0.655, acompañado de un incremento en los errores absolutos (RMSE = 0.150, MAE = 0.132). Asimismo, los errores relativos aumentaron (MAPE = 18.64%, SMAPE = 16.98%), indicando que el modelo perdió capacidad de generalización al trabajar con mayor cantidad de información. Este comportamiento puede deberse a la dificultad intrínseca de las RNN simples para manejar dependencias largas en series temporales complejas, lo que las hace más susceptibles a

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



problemas de sobreajuste o pérdida de memoria a lo largo del tiempo.

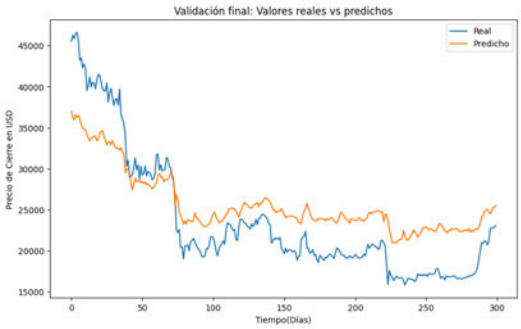



Figura 13. Evaluación del modelo RNN con todos los datos.

### 3.2.5. Transformer

Los modelos Transformer han revolucionado el procesamiento de secuencias en campos como el procesamiento de lenguaje natural, gracias a su capacidad para capturar relaciones entre elementos sin recurrir a estructuras recurrentes. A diferencia de las RNN o LSTM, los Transformers utilizan mecanismos de atención que permiten al modelo enfocarse en diferentes partes de la secuencia, independientemente de su posición relativa. Esta propiedad los hace especialmente útiles para detectar patrones complejos y relaciones de largo alcance en series temporales.

La arquitectura incluye:

- Capa densa para transformar la entrada al espacio de atención.
- Capa de atención multi-cabeza (MultiHeadAttention) para evaluar la relevancia de cada paso temporal.
- Conexiones residuales + LayerNormalization para estabilidad.
- Red feed-forward (MLP) para proyección no lineal.
- Predicción basada solo en la última posición de la secuencia.

El modelo fue entrenado utilizando validación cruzada con TimeSeriesSplit y búsqueda de hiperparámetros mediante GridSearchCV. Se probaron diferentes combinaciones de número de cabezas (num_heads), unidades ocultas (units), tasas de dropout y funciones de activación.

#### 3.2.5.1 Resultados con parámetros sintonizados en walk forward con 3 splits

El modelo Transformer obtuvo un rendimiento sólido en el escenario walk forward. Registró un $R^2$ de 0.640, lo que evidencia una buena capacidad explicativa sobre la variabilidad del precio de cierre de Bitcoin. Los errores absolutos fueron competitivos (RMSE = 0.140, MAE = 0.124), mientras que los errores relativos se situaron en valores moderados (MAPE = 16.99%, SMAPE = 15.51%). Estos resultados reflejan que, aun en un contexto de validación estricta y con un número limitado de datos, el Transformer logra capturar de forma eficaz las dependencias de la serie temporal.

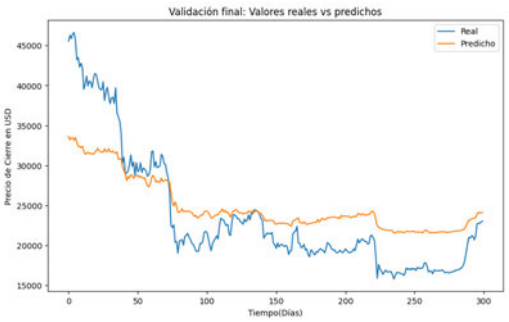



Figura 14. Evaluación del modelo Transformer en walk forward.

#### 3.2.5.2 Resultados con parámetros sintonizados y todos los datos

Al entrenarse con la totalidad de los datos disponibles, el Transformer evidenció una mejora notable en su rendimiento. El $R^2$ ascendió a 0.765, el valor más alto entre todos los modelos evaluados, acompañado de una reducción en los errores absolutos (RMSE = 0.132, MAE = 0.106). En paralelo, los errores relativos disminuyeron de manera significativa (MAPE = 15.48%, SMAPE = 14.04%), lo que confirma que el modelo aprovecha de manera eficiente un mayor volumen de información histórica, consolidándose como una de las arquitecturas más precisas del estudio.

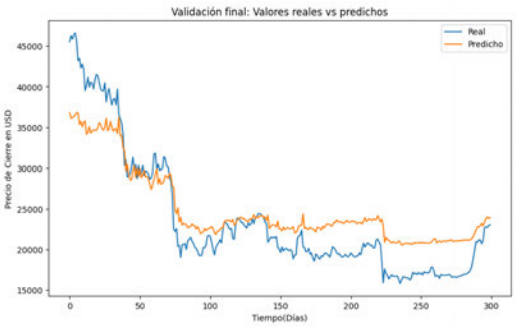



Figura 15. Evaluación del modelo Transformer con todos los datos.

### 3.2.6. Modelo híbrido LSTM + Transformer

Con el objetivo de combinar lo mejor de dos enfoques complementarios, se desarrolló un modelo híbrido que integra una capa LSTM con un bloque Transformer, permitiendo capturar tanto la dinámica secuencial de la serie temporal como las relaciones globales entre los elementos de la secuencia.

Esta arquitectura aprovecha la memoria interna de las LSTM para modelar la evolución temporal del precio del Bitcoin, y la atención multi-cabeza de los Transformers

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



para identificar patrones complejos y relaciones entre múltiples variables predictoras en cada ventana de 30 días.

Este modelo fue entrenado utilizando validación cruzada con TimeSeriesSplit y optimización de hiperparámetros mediante GridSearchCV, considerando distintas combinaciones de:

- Unidades LSTM (units)
- Número de cabezas en la atención (num_heads)
- Tipo de activación (relu, tanh)
- Optimizador (adam, rmsprop)
- Batch size y número de épocas

La arquitectura completa constó de:

- Entrada: secuencias de 30 días con 6 variables ((30, 6))
- LSTM con 64 unidades
- Atención multi-cabeza (MultiHeadAttention) con 4 cabezas
- Regularización con Dropout y LayerNormalization
- Predicción final basada en la última posición temporal

#### 3.2.6.1 Resultados con parámetros sintonizados en walk forward con 3 splits

El modelo híbrido LSTM + Transformer alcanzó el mejor desempeño en el escenario walk forward. Obtuvo un $R^2$ de 0.690, evidenciando una buena capacidad explicativa, junto con los valores de error absoluto más bajos entre las arquitecturas evaluadas (RMSE = 0.142, MAE = 0.101). Además, logró los mejores resultados relativos, con un MAPE de 12.31% y un SMAPE de 12.29%, lo que confirma su capacidad para realizar predicciones más ajustadas incluso en un contexto de validación estricta. Estos resultados sugieren que la combinación de mecanismos de memoria (LSTM) y atención (Transformer) permitió capturar de manera más equilibrada tanto patrones secuenciales como dependencias globales en la serie temporal.

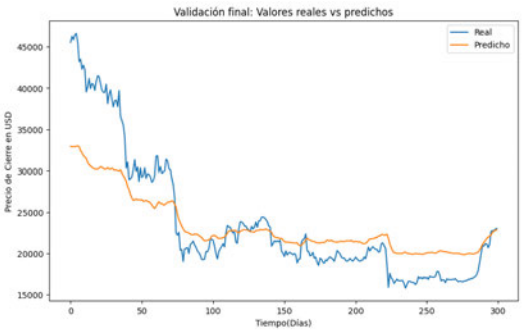



Figura 16. Evaluación del modelo LSTM + Transformer en walk forward.

#### 3.2.6.2 Resultados con parámetros sintonizados y todos los datos

En contraste con los resultados anteriores, el desempeño del modelo híbrido se redujo al entrenarse con la totalidad de los datos. El $R^2$ descendió a 0.665, mientras que los errores absolutos aumentaron (RMSE = 0.147, MAE = 0.130). Asimismo, los errores relativos se incrementaron (MAPE = 18.56%, SMAPE = 16.92%), perdiendo parte de la ventaja alcanzada en el esquema walk forward. Este comportamiento podría deberse a un mayor riesgo de sobreajuste al combinar ambas arquitecturas sobre un volumen de datos más amplio, lo que disminuye su capacidad de generalización.

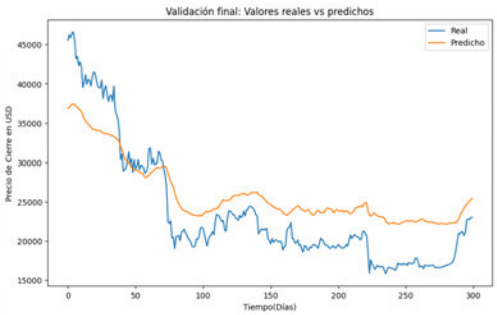



Figura 17. Evaluación del modelo LSTM + Transformer con todos los datos.

### 3.2.7. Análisis comparativo de resultados

En la Figura 18 se presentan los resultados de los modelos evaluados bajo el esquema de validación walk forward. En este contexto, el modelo híbrido LSTM + Transformer obtuvo el mejor desempeño relativo, alcanzando un MAE de 0.101, junto con los valores más bajos de MAPE (12.31%) y SMAPE (12.29%). Estos resultados lo destacan como el modelo más preciso bajo condiciones de validación estricta, donde se privilegia la capacidad de generalización frente a datos progresivamente incorporados. El $R^2$ de 0.690 refuerza su solidez explicativa.

| Tipo de Modelo | MSE | RMSE | MAE | $R^2$ | MAPE | SMAPE | TE (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LSTM | 0.022 | 0.149 | 0.137 | 0.636 | 20.039% | 18.088% | 10.369 |
| GRU | 0.021 | 0.147 | 0.135 | 0.648 | 19.585% | 17.772% | 29.96 |
| CNN 1D | 0.027 | 0.166 | 0.151 | 0.552 | 22.048% | 19.725% | 23.382 |
| RNN Simple | 0.017 | 0.133 | 0.120 | 0.712 | 17.446% | 15.924% | 17.523 |
| Transformer | 0.022 | 0.148 | 0.124 | 0.640 | 16.994% | 15.967% | 46.255 |
| **LSTM + Transformer** | **0.019** | **0.138** | **0.101** | **0.690** | **12.316%** | **12.299%** | **22.365** |

Figura 18. Comparativa de resultados de los modelos con todos los datos.

El modelo Transformer puro también mostró un rendimiento competitivo en este esquema, con un MAE de 0.124 y un $R^2$ de 0.640, superando a las arquitecturas recurrentes tradicionales. La RNN simple, de menor complejidad, alcanzó sorpresivamente un $R^2$ de 0.712,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aunque con errores porcentuales algo mayores, lo que sugiere una buena adaptación a patrones recientes, pero menor robustez global. En contraste, las arquitecturas CNN y LSTM/GRU puros exhibieron mayores dificultades, con errores relativos más elevados, lo que limita su aplicabilidad en escenarios de alta volatilidad.

En la Figura 19 se detallan los resultados de los modelos entrenados con la totalidad de los datos disponibles. Bajo este escenario, el modelo Transformer emergió como la mejor alternativa, alcanzando un $R^2$ de 0.765 —el mayor de todos los experimentos— y reduciendo de forma significativa los errores absolutos (MAE = 0.106, RMSE = 0.120) y relativos (MAPE = 15.48%, SMAPE = 14.26%). Este comportamiento confirma que los Transformers, dada su arquitectura basada en mecanismos de atención, requieren un mayor volumen de información para desplegar plenamente su capacidad de modelar dependencias de largo plazo.

| Tipo de Modelo | MSE | RMSE | MAE | $R^2$ | MAPE | SMAPE | TE (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LSTM | 0.020 | 0.144 | 0.130 | 0.661 | 18.564% | 17.037% | 7.596 |
| GRU | 0.021 | 0.146 | 0.133 | 0.652 | 19.001% | 17.393% | 12.201 |
| CNN 1D | 0.020 | 0.142 | 0.128 | 0.669 | 18.597% | 16.921% | 10.961 |
| RNN Simple | 0.021 | 0.145 | 0.132 | 0.655 | 18.865% | 17.289% | 7.563 |
| **Transformer** | **0.014** | **0.120** | **0.106** | **0.765** | **15.481%** | **14.261%** | **16.08** |
| LSTM + Transformer | 0.020 | 0.143 | 0.130 | 0.665 | 18.930% | 17.173% | 8.417 |

Figura 19. Comparativa de resultados de los modelos en walk forward

En contraste, el modelo híbrido LSTM + Transformer, que había mostrado superioridad en walk forward, perdió parte de su ventaja al entrenarse con todos los datos, alcanzando métricas comparables a las de LSTM y GRU. Este comportamiento sugiere que la mayor complejidad del híbrido lo vuelve más susceptible al sobreajuste en contextos donde la validación estricta no está presente. Por su parte, las CNN mostraron una mejora notoria respecto a walk forward, alcanzando un $R^2$ de 0.669, aunque sin superar a los modelos basados en atención.

## 4. Conclusiones

### 4.1 Evaluación de desempeño y compromisos entre precisión y eficiencia computacional

Los resultados obtenidos confirman que las arquitecturas basadas en atención, y en particular la combinación LSTM + Transformer, ofrecieron los mejores niveles de precisión bajo esquemas de validación estricta (walk forward). En este escenario, el modelo híbrido alcanzó los menores valores de MAE y SMAPE, mientras que el Transformer puro se destacó por su robustez y consistencia al entrenarse con la totalidad de los datos, alcanzando el mejor rendimiento global.

Con el fin de dimensionar el valor agregado de las arquitecturas avanzadas, se incorporaron dos modelos base: Naïve Forecast y Regresión Lineal. Estos métodos simples lograron captar parcialmente la tendencia de la serie —con $R^2$ cercanos a 0,99 en el caso de la regresión lineal—, pero fueron ampliamente superados por los modelos de Deep Learning en todas las métricas de error absoluto y porcentual. Esta comparación refuerza la solidez metodológica del trabajo y valida que las mejoras obtenidas no son triviales, sino producto de la capacidad de los modelos modernos para capturar dependencias complejas de largo plazo.

No obstante, la selección del modelo más adecuado debe considerar no sólo las métricas de error, sino también factores como la capacidad de cómputo disponible, el tiempo de entrenamiento y la posibilidad de implementación en entornos productivos. Las arquitecturas con capas de atención, embeddings posicionales y múltiples cabezales implican mayores requerimientos de memoria y procesamiento que las redes recurrentes tradicionales (LSTM, GRU, RNN simple). Por el contrario, modelos como GRU presentan menor carga computacional y son más rápidos de entrenar, aunque sacrifican precisión. Este trade-off entre exactitud y eficiencia es especialmente relevante en aplicaciones en tiempo real o con recursos limitados.

### 4.2 Discusión de los resultados a la luz de los objetivos y del marco teórico considerado

Los resultados obtenidos permiten establecer una clara correspondencia con los objetivos planteados inicialmente. Se logró diseñar y evaluar múltiples arquitecturas de Deep Learning, integrando variables provenientes tanto del mercado financiero tradicional como del interés social medido por Google Trends. Esta combinación multidimensional podría contribuir a mejorar la sensibilidad de los modelos ante eventos exógenos; si bien en este trabajo no se realizó una prueba aislada del efecto de dicha variable, la literatura especializada [11],[16] señala que la atención pública condiciona en parte los movimientos del precio de Bitcoin.

Asimismo, la inclusión de modelos base permitió dimensionar con mayor claridad el aporte real de las arquitecturas avanzadas. Se observó que los modelos más sofisticados, como los basados en Transformers, fueron capaces de capturar relaciones no lineales y dependencias de largo plazo, mientras que los modelos clásicos (RNN simples, CNN 1D) mostraron limitaciones frente a la volatilidad y complejidad del mercado cripto. Este hallazgo refuerza la pertinencia de aplicar arquitecturas modernas en dominios con alta dinámica temporal y confirma que la mejora en desempeño no es atribuible sólo al aumento de datos, sino a la estructura misma de los modelos.

### 4.3 Propuesta de nuevas líneas de investigación

A partir de los resultados obtenidos y de las limitaciones metodológicas identificadas, se proponen varias líneas de investigación que podrían enriquecer y ampliar este trabajo en futuras etapas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En primer lugar, se plantea incorporar información cualitativa relacionada con noticias económicas y eventos del mercado, utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP). Estas fuentes, como titulares de medios especializados, publicaciones oficiales o datos de sentimiento en redes sociales (por ejemplo, Twitter o Reddit), podrían aportar señales complementarias relevantes para capturar variaciones abruptas o contextos externos que afectan el precio del Bitcoin y otros activos digitales. Trabajos recientes han demostrado la utilidad de modelos preentrenados como FinBERT o BERTweet para predecir movimientos extremos en criptomonedas a partir de contenido textual [11],[16].

En segundo lugar, sería interesante explorar series temporales con mayor granularidad, como datos horarios o por minuto, en lugar de datos diarios. Esta ampliación permitiría detectar patrones de comportamiento intradía y reacciones más inmediatas del mercado, lo cual podría mejorar la sensibilidad del modelo ante fluctuaciones de corto plazo. Existen investigaciones que validan la efectividad de este enfoque en el dominio cripto, especialmente en escenarios con alta volatilidad (Camacho Collados et al., 2023).

En tercer lugar, se sugiere evaluar la capacidad de generalización del modelo en otros activos criptográficos, como Ethereum, Litecoin o stablecoins. Este enfoque permitiría comprobar si las arquitecturas propuestas son robustas frente a diferentes comportamientos de mercado y ajustar la selección de variables o la estructura del modelo en función de las características de cada activo. [11] han demostrado resultados alentadores al aplicar modelos multimodales a distintos activos.

Por último, una dirección metodológica relevante consiste en ampliar las estrategias de optimización de hiperparámetros. Si bien este trabajo utilizó una búsqueda exhaustiva (Grid Search) con un conjunto acotado de combinaciones, existen alternativas más eficientes como Random Search, Bayesian Optimization y herramientas como Optuna, que permiten explorar el espacio de hiperparámetros de forma más efectiva y con menor costo computacional. Estas técnicas han sido validadas en contextos similares, mostrando mejoras significativas en eficiencia sin comprometer la precisión [17].

Estas líneas futuras buscan fortalecer tanto la precisión como la aplicabilidad del enfoque, manteniendo la consistencia con la naturaleza secuencial y volátil del dominio de las criptomonedas.

## 5. Referencias

[1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," 2008. [Online]. Available: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

[2] A. Borrega Langa, Criptomonedas y su uso en las finanzas descentralizadas. Editorial Académica Española, 2021.

[3] D. G. Baur, K. Hong and A. D. Lee, "Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets?," Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, vol. 54, pp. 177–189, 2018.

[4] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, Forecasting: Principles and Practice, 2nd ed., OTexts, 2018.

[5] Y. Zhang and S. Wang, "Time series forecasting with deep learning: A survey," Philosophical Transactions of the Royal Society A, vol. 378, no. 2164, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0393

[6] I. Goodfellow, Y. Bengio and A. Courville, Deep Learning, MIT Press, 2016. [Online]. Available: https://www.deeplearningbook.org/

[7] T. Fischer and C. Krauss, "Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions," European Journal of Operational Research, vol. 270, no. 2, pp. 654–669, 2018. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.054

[8] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez et al., "Attention is all you need," Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 30, 2017.

[9] S. McNally, J. Roche and S. Caton, "Predicting the price of Bitcoin using Machine Learning," in Proc. 26th Euromicro Int. Conf. on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP), 2018, pp. 339–343.

[10] J. Brownlee, Deep Learning for Time Series Forecasting. Machine Learning Mastery, 2018.

[11] V. Gurgul, S. Lessmann and W. K. Härdle, "Deep Learning and NLP in Cryptocurrency Forecasting: Integrating Financial, Blockchain, and Social Media Data," arXiv preprint, 2023. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2311.14759

[12] T. Preis, H. S. Moat and H. E. Stanley, "Quantifying trading behavior in financial markets using Google Trends," Scientific Reports, vol. 3, no. 1684, 2013. [Online]. Available: https://doi.org/10.1038/srep01684

[13] J. Camacho Collados et al., "Predicting Bitcoin Price Movement through Sentiment Analysis: A Comprehensive Study," in Proc. Int. Workshop on Big Data in Emergent Distributed Environments, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3663741.3664791

[14] F. Martínez-Plumed, L. Contreras-Ochando, C. Ferri, and J. Hernández-Orallo, "CRISP-DM twenty years later: From data mining processes to data science trajectories," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 33, no. 8, pp. 3048–3061, 2019.

[15] Scikit-learn Development Team. (2024). TimeSeriesSplit. Recuperado de https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model_selection.TimeSeriesSplit.html

[16] Y. Zou and D. Herremans, "PreBit – A multimodal model with Twitter FinBERT embeddings for extreme price movement prediction of Bitcoin," arXiv preprint, 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2206.00648

[17] R. Turner, D. Eriksson, M. McCourt, J. Kiili, E. Laaksonen, Z. Xu and I. Guyon, "Bayesian Optimization is Superior to Random Search for Machine Learning Hyperparameter Tuning: Analysis of the Black-Box Optimization Challenge 2020," in Proc. NeurIPS 2020 Competition and Demonstration Track, PMLR, vol. 133, 2021, pp. 3–26.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[Online]. Available: https://proceedings.mlr.press/v133/turner21a.html

[18] O. Hegazy, O. Soliman and M. A. Salam, "Comparative study between different forecasting algorithms in predicting stock market," International Journal of Computer Applications, vol. 99, no. 4, pp. 1–8, 2014.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Extracción de Características para Búsquedas por Similitud: Un enfoque basado en Vision Transformers (ViT)

*Federico Lederhos*
*FRCU - Universidad Tecnológica Nacional*
*fedelederhos5@gmail.com*

*Lucas Tonelotto*
*FRCU - Universidad Tecnológica Nacional*
*tonelottolucas@gmail.com*

*Leon Castiglioni*
*FRCU - Universidad Tecnológica Nacional*
*leoncastiglioni4@gmail.com*

*Adrian N. Planas*
*FRCU - Universidad Tecnológica Nacional*
*planasa@frcu.utn.edu.ar*

*Andres J. Pascal*
*FRCU - Universidad Tecnologica Nacional*
*pascala@frcu.utn.edu.ar*

## Resumen

*La búsqueda por similitud de imágenes constituye un desafío creciente en el contexto de grandes bases de datos visuales, donde los enfoques tradicionales resultan muchas veces insuficientes para capturar la complejidad de los contenidos. En este trabajo se explora el uso de Vision Transformers (ViT) como alternativa a las redes convolucionales (CNNs) para la extracción de características en tareas de recuperación de imágenes, en particular, logos deportivos. Se realizaron estudios utilizando distintas versiones de ViT y diferentes estrategias de preprocesamiento. Los resultados experimentales muestran que ViT-Large supera consistentemente a ViT-Base, alcanzando desempeños notables en algunas configuraciones que incluso superan la precisión obtenida por ResNET50 en estudios anteriores sobre el mismo conjunto de datos. Además, se evidenca que el preprocesamiento de recorte al rectángulo mínimo favorece la precisión de las búsquedas. Estos hallazgos confirman el potencial de los ViT para ofrecer representaciones robustas y transferibles en escenarios de búsqueda por similitud, al tiempo que resaltan la importancia de una adecuada selección de capas y del uso de técnicas de preprocesamiento en la construcción de los embeddings.*

## 1. Introducción

La búsqueda por similitud en bases de datos de imágenes se ha convertido en un área de creciente interés, impulsada por el constante aumento en la disponibilidad de colecciones visuales de gran escala. Este tipo de búsquedas resulta esencial en aplicaciones como la recuperación de información, la clasificación automática y la organización de archivos multimedia, donde los métodos tradicionales de indexación y comparación resultan insuficientes para capturar la complejidad y variabilidad de los datos visuales.

Un desafío particularmente relevante en este contexto es la escasez de ejemplos disponibles por categoría, lo que en muchos casos se traduce en escenarios de 0-shot o 1-shot learning. Esta limitación impide el entrenamiento exhaustivo de modelos supervisados y exige enfoques capaces de generalizar a partir de muy pocos ejemplos, manteniendo al mismo tiempo eficiencia en la comparación y escalabilidad frente al crecimiento continuo de las bases de datos.

En investigaciones previas, exploramos el uso de redes convolucionales (CNNs), en particular ResNet50 [1], para la extracción de características aplicadas a búsquedas por similitud. Dicho enfoque permitió comprobar la robustez de las CNNs para representar imágenes y obtener resultados competitivos. Sin embargo, se identificaron también ciertas limitaciones: la alta dimensionalidad de los vectores de características, la necesidad de seleccionar cuidadosamente las capas de donde extraer dichas representaciones, y la dificultad de mantener la escalabilidad sin recurrir a procesos de reentrenamiento costosos.

En este trabajo proponemos explorar una alternativa basada en Vision Transformers (ViT), un modelo que introduce un paradigma distinto al representar las imágenes como secuencias de *patches* y procesarlas mediante mecanismos de atención. Este enfoque ha demostrado resultados sobresalientes en múltiples tareas de visión por computadora, ofreciendo mayor capacidad de generalización y una representación más flexible de las imágenes que las arquitecturas convolucionales tradicionales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La pregunta central que orienta esta investigación es si los modelos basados en ViT pueden mejorar la robustez y la capacidad de generalización en búsquedas por similitud respecto a las CNNs, especialmente en escenarios caracterizados por datos limitados y bases de imágenes en expansión.

## 2. Trabajo Relacionado

Esta sección revisa los enfoques más relevantes en el campo de la búsqueda por similitud en imágenes, desde los métodos tradicionales de recuperación basada en contenido hasta los modelos de aprendizaje profundo más recientes, incluyendo los Vision Transformers (ViT).

### 2.1 Búsqueda de imágenes basada en contenido (CBIR)

La *Content-Based Image Retrieval* (CBIR) ha sido uno de los primeros enfoques sistemáticos para recuperar imágenes en grandes bases de datos a partir de sus atributos visuales. Sus descriptores clásicos incluyen color, textura y forma [2, 3]. Aunque estos métodos marcaron un avance significativo, su capacidad de generalización es limitada, ya que no logran capturar adecuadamente la semántica de los objetos ni su variabilidad en condiciones reales.

### 2.2 Búsqueda por similitud en espacios métricos

El problema de la búsqueda por similitud puede formalizarse dentro del modelo de espacios métricos, en el cual los objetos se representan mediante un conjunto de características y una función de distancia que satisface propiedades métricas [4]. Este enfoque habilita la utilización de índices especializados que aprovechan la desigualdad triangular para descartar comparaciones innecesarias, optimizando la búsqueda en grandes colecciones. Dicho modelo se convirtió en una base teórica clave sobre la cual se construyeron sistemas de recuperación de imágenes más sofisticados.

### 2.3 CNNs y Transfer Learning

Las redes convolucionales (CNNs) transformaron el campo de la visión por computadora gracias a su capacidad para aprender representaciones jerárquicas de las imágenes. Modelos como AlexNet [5], VGG [6], Inception [7], DenseNet [8] y ResNet [9] marcaron hitos en tareas de clasificación y recuperación.

En investigaciones previas se utilizó ResNet50 [1, 10] para la extracción de vectores de características en búsquedas por similitud en una base de datos de logos. Si bien los resultados fueron satisfactorios, se observaron limitaciones en tres aspectos:

1. **Dimensionalidad alta** de los vectores, que complica la indexación eficiente.
2. **Dependencia de la capa seleccionada** para la extracción de características, lo que introduce variabilidad en los resultados.
3. **Escasa capacidad de generalización** frente a la incorporación de nuevas imágenes, dado que los vectores están estrechamente ligados a las clases originales del modelo.

Estas limitaciones motivan la exploración de arquitecturas alternativas que puedan ofrecer representaciones más flexibles y transferibles.

### 2.4 Vision Transformers

Los *Vision Transformers* (ViT) introducidos por Dosovitskiy et al. [11] representan un cambio de paradigma frente a las CNNs. Inspirados en los *Transformers* desarrollados originalmente para procesamiento de lenguaje natural [12], los ViT tratan una imagen como una secuencia de pequeños parches (*patches*) de tamaño fijo, que son linealmente embebidos y enriquecidos con codificaciones posicionales. Estos embeddings constituyen la entrada a una arquitectura de múltiples capas de auto-atención (*multi-head self-attention*), donde cada capa captura dependencias globales entre los distintos parches.

Un ViT típico consta de tres componentes principales:

- **Patch Embedding Layer**: divide la imagen en parches de tamaño uniforme (por ejemplo, 16x16 píxeles), los aplana y proyecta en un espacio latente de dimensión fija.
- **Encoder Transformer**: compuesto por bloques repetidos que incluyen mecanismos de auto-atención y perceptrones multicapa (*MLP*), normalización de capas (*LayerNorm*) y conexiones residuales. Cada bloque puede generar representaciones intermedias que capturan distintas abstracciones visuales.
- **Token de clasificación (CLS)**: un token especial agregado a la secuencia que resume la información global de la imagen, frecuentemente utilizado en tareas de clasificación.

Esta estructura jerárquica hace que los ViT resulten especialmente atractivos para tareas de extracción de características, ya que las salidas de distintas capas pueden emplearse como vectores de representación, capturando información en diferentes niveles de abstracción [13].

#### 2.4.1 Aplicaciones en Clasificación, Recuperación y Few/Zero-Shot

Los ViT alcanzaron resultados de vanguardia en clasificación de imágenes en ImageNet [11] y posteriormente se extendieron a tareas de detección [14] y segmentación [15]. En recuperación de imágenes, se han explorado variantes como DeiT [16] y XCiT [17], que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



introducen modificaciones para mejorar la eficiencia y la transferencia de características.

Un aspecto particularmente relevante para este trabajo es su desempeño en escenarios de *few-shot* y *zero-shot*. Modelos multimodales como CLIP [18] demostraron que las representaciones aprendidas por ViT pueden generalizar a dominios no vistos mediante alineamiento con texto, lo que abrió la puerta a sistemas robustos de búsqueda por similitud sin necesidad de reentrenamiento intensivo.

#### 2.4.2 Limitaciones

A pesar de sus ventajas, los ViT presentan ciertos desafíos:

- **Costo computacional elevado** para entrenar desde cero, tanto en memoria como en tiempo de entrenamiento.
- **Dependencia de grandes volúmenes de datos preentrenados**, que condiciona su desempeño en contextos con información limitada.
- **Dimensionalidad de las representaciones**: los vectores generados suelen ser de alta dimensión, lo cual impacta en la eficiencia de la búsqueda por similitud en bases extensas.

En consecuencia, el uso de ViT preentrenados y la exploración de sus distintas capas como fuentes de características se han convertido en una estrategia prometedora para tareas de recuperación eficiente y robusta en escenarios de datos limitados.

## 3. Sistema de Búsquedas por Similitud

Los sistemas de búsquedas por similitud se basan en la representación de cada imagen mediante un vector de características que permite establecer comparaciones métricas entre elementos. El proceso general consta de dos fases: la preparación de la base de datos y la gestión de consultas.

La construcción de los vectores de características comienza con una etapa de preprocesamiento, donde las imágenes son normalizadas y adaptadas a un formato estándar. Posteriormente, el modelo de extracción —en este caso un **Vision Transformer (ViT)**— genera embeddings que capturan la información visual más representativa. Estos vectores se utilizan para construir un índice métrico, lo que optimiza la eficiencia en el proceso de búsqueda.

El flujo general del sistema se detalla a continuación:

1. **Registro de objetos en la base de datos:**
   - **Preprocesamiento de imágenes:** consiste en operaciones como recorte al rectángulo envolvente mínimo (MBR), redimensionamiento a dimensiones estándar, reducción de ruido y normalización de valores de píxel.
   - **Extracción de características:** la imagen preprocesada se transforma en un vector de características a través del ViT, que procesa la entrada en forma de tokens de patches y devuelve un embedding correspondiente.
   - **Almacenamiento:** tanto la imagen original como su vector de características se registran en la base de datos.
   - **Actualización del índice métrico:** el vector extraído se incorpora al índice, permitiendo la inserción incremental de nuevos elementos.
2. **Búsqueda por similitud:**
   - A partir de una imagen de consulta, se ejecutan nuevamente los pasos de preprocesamiento y extracción de características.
   - El embedding resultante se compara con los almacenados mediante distancias métricas, típicamente Euclídea o Coseno, permitiendo realizar búsquedas de tipo *Range Search* o *k-Nearest Neighbors (k-NN)*.
   - El índice métrico facilita la exclusión temprana de candidatos no relevantes y la recuperación de los elementos más similares a la consulta.

Cabe destacar que el modelo de extracción de características debe ser lo suficientemente robusto para manejar tanto las imágenes incluidas en el entrenamiento como las nuevas que se incorporan a la base de datos en etapas posteriores, sin requerir reentrenamiento.

## 4. Metodología

El diseño experimental adoptado en este trabajo se estructuró en tres etapas principales: preprocesamiento de las imágenes, extracción de características mediante Vision Transformers (ViT) y búsqueda por similitud en el espacio de embeddings. A continuación, se describen en detalle cada una de estas fases.

### 4.1. Preprocesamiento

Todas las imágenes de la base de datos, así como las consultas, fueron sometidas a una etapa de preprocesamiento destinada a mejorar la calidad de los vectores de características y la robustez de los resultados.

En primer lugar, las imágenes fueron normalizadas para garantizar que los valores de entrada se encontraran en un rango adecuado para los modelos. Posteriormente, se evaluaron dos transformaciones adicionales:

- **Gaussian Blur (B):** se aplicó un desenfoque gaussiano [19, 20] como forma de suavizado de la imagen. Este procedimiento busca atenuar el ruido y resaltar patrones de mayor escala, aunque,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



como muestran los resultados experimentales, en algunos casos su aplicación produjo una disminución del desempeño.

- **Recorte al rectángulo mínimo (R):** las imágenes fueron ajustadas a su contenedor mínimo rectangular, eliminando regiones vacías o redundantes. Esta operación permitió centrar la representación en la figura principal de la imagen, lo cual se reflejó en mejoras de precisión en varios de los experimentos.

Adicionalmente, se consideró la inclusión o exclusión del token de clasificación (CLS) [22, 23, 24] en los vectores de salida, aspecto señalado en las tablas de resultados mediante la marca *S/C*.

### 4.2. Extracción de Características con ViT

La segunda etapa correspondió a la extracción de embeddings mediante arquitecturas Vision Transformer. Se emplearon dos variantes ampliamente utilizadas: **ViT-Base** (Patch16-224-In21k) [11] y **ViT-Large** (Patch16-224-AugReg-In21k-FT-In1k) [25], ambos preentrenados y obtenidos de Hugging Face.

Se implementaron cuatro enfoques principales de representación que se explican más adelante. La dimensionalidad de los embeddings resultantes varió en función del caso: desde 1024 en los enfoques basados en CLS o pooling, hasta más de 200k dimensiones en las variantes *Flatten*.

### 4.3. Búsqueda por Similitud

La etapa final consistió en la comparación entre embeddings con el objetivo de recuperar las imágenes más similares a cada consulta.

Dado un vector de características correspondiente a una imagen de consulta, este se comparó contra todos los embeddings de la base de datos (10k imágenes) empleando como métrica la distancia coseno. Los resultados fueron ordenados según menor distancia, y se evaluaron las métricas de *Top-1*, *Top-3* y *Top-5* para cuantificar la calidad de la recuperación.

Para mejorar la comparabilidad entre representaciones, los vectores fueron previamente normalizados a norma unitaria en aquellas configuraciones señaladas con la marca *N* en las tablas experimentales.

El procedimiento completo permitió evaluar sistemáticamente el impacto del preprocesamiento, la estrategia de extracción de características y la arquitectura del modelo en el desempeño de las búsquedas por similitud.

## 5. Conjunto de Datos y Consultas

**BD de Logos de Clubes**: para la experimentación se empleó un conjunto de logos de clubes deportivos, compuesto por 10.391 imágenes recolectadas de diversas fuentes en internet. Los archivos se encuentran en formato PNG, con profundidad de color de 24 o 32 bits, y presentan una notable variabilidad en sus resoluciones, que oscilan entre 180×180 píxeles y 2000×2000 píxeles. El dataset se mantuvo de manera intencional sin normalizar, con el propósito de evaluar la robustez de las etapas de preprocesamiento aplicadas. La Figura 1 muestra ejemplos representativos de esta colección.




**Figura 1. BD de Logos**

**Consultas**. Para realizar las búsquedas de similitud se seleccionaron 80 logos adicionales, también obtenidos de internet. Se garantizó que estas imágenes de consulta no fueran idénticas a las incluidas en la base de datos, evitando coincidencias triviales, pero asegurando que cada logo estuviera efectivamente representado en la colección. Además, cada consulta fue nombrada siguiendo la convención de utilizar el mismo nombre de archivo que el logo correspondiente dentro del conjunto de datos, lo cual facilitó la verificación y el análisis de los resultados.

## 6. Experimentos y Resultados

Para evaluar el desempeño de distintos métodos de extracción de embeddings con modelos Vision Transformer (ViT), se realizaron una serie de experimentos empleando las dos arquitecturas nombradas, *ViT-Base* y *ViT-Large*.

Se implementaron cuatro variantes principales de extracción de características (denominadas *Casos*):

1. **Caso CLS**: se utilizó directamente el token de clasificación (CLS) de la última capa como representación de la imagen. Dimensión del vector característico de salida: 1024.
2. **Caso Max Pooling**: se aplicó un pooling sobre los embeddings de los parches de la última capa, considerando tanto la variante *mean* como *max*. Dimensión del vector característico de salida: 1024.
3. **Caso Multi-capa**: se combinaron salidas intermedias de distintos bloques del encoder. Se aplicaron tres estrategias:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **CLS multi-capa**: tomando el token CLS de varias capas y promediándolos. Dimensión del vector característico de salida: 1024.
- **Max multi-capa**: aplicando *max* sobre los parches (sin incluir el CLS) en varias capas y promediando los resultados. Dimensión del vector característico de salida: 1024.
- **Flatten multi-capa**: aplanando directamente las salidas completas de cada capa (con o sin CLS), normalizando cada vector y luego calculando un promedio entre capas. Dimensión del vector característico de salida: 200704 (sin CLS), 201728 (con CLS).

4. **Caso Flatten**: se utilizó directamente la salida completa de la última capa aplanada. En algunas variantes se excluyó el token CLS. Dimensión del vector característico de salida: 200704 (sin CLS), 201728 (con CLS).

Los experimentos realizados se pueden dividir en tres bloques que se corresponden con la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 respectivamente.

- En el primer bloque se hicieron pruebas combinando los diferentes modelos y casos explicados anteriormente, a su vez se aplicaron otras variaciones relacionadas al pre-procesamiento de las imágenes y a la obtención del vector característico final utilizado para medir la similitud.
- En el segundo bloque se realizaron 24 pruebas secuenciales acumulando progresivamente bloques correspondientes a la arquitectura del modelo ViT-Large desde el bloque 0 unitariamente hasta la combinación de los bloques de 0 a 23. Cada prueba fue una aplicación del Caso Multi-Layer basado en la estrategia Flatten, normalizado, con Gaussian Blur y excluyendo el CLS.
- En el tercer bloque se realizaron 24 pruebas secuenciales de cada uno de los bloques individualmente correspondientes a la arquitectura del modelo ViT-Large desde el bloque 0 unitariamente hasta el bloque 23. Cada prueba fue una aplicación del Caso Multi-capa basado en la estrategia Flatten, normalizado, con Gaussian Blur y excluyendo el CLS.

En las **Tablas 1–3** se muestran los resultados de los tres bloques de experimentos. Se emplean abreviaturas para representar los modelos, configuraciones de extracción y preprocesamientos utilizados. A continuación, se presenta un glosario con las denominaciones empleadas:

- **ViT-B**: modelo Vision Transformer Base.
- **ViT-L**: modelo Vision Transformer Large.
- **CLS**: uso del token de clasificación (*classification token*) de la última capa.
- **POOL**: uso de *pooling* (mean o max) sobre los parches de la última capa.
- **ML-C**: combinación multi-capa basada en el token CLS.
- **ML-P**: combinación multi-capa basada en *max pooling* sobre los parches.
- **ML-F**: combinación multi-capa basada en aplanado (*FLATten*) de las salidas completas.
- **FLAT**: salida aplanada de la última capa (con o sin CLS).
- **[x,y]**: combinación de los bloques *x* e *y* de la arquitectura.
- **[x–y]**: combinación secuencial de los bloques comprendidos entre *x* y *y*.
- **N**: vectores de características normalizados a norma unitaria.
- **B**: aplicación de filtro *Gaussian Blur* como preprocesamiento.
- **R**: recorte al rectángulo mínimo como preprocesamiento.
- **S/C**: exclusión del token CLS antes de construir el vector característico.

**Tabla 1. Resultados Primer Bloque de Experimentos**

| Modelo | Caso | Detalle | Top-1 | Top-3 | Top-5 |
|---|---|---|---|---|---|
| ViT-B | CLS | | 27,5% | 35% | 41,25% |
| ViT-L | CLS | | 52,5% | 61,25% | 65% |
| ViT-B | POOL | | 41,25% | 57,5% | 60% |
| ViT-L | POOL | | 71,25% | 83,75% | 86,25% |
| ViT-L | POOL | B | 62,5% | 77,5% | 80% |
| ViT-L | POOL | R | 77,5% | 88,75% | 92,5% |
| ViT-B | ML-C | [3, 11] | 48,75% | 68,75% | 75% |
| ViT-L | ML-C | [3, 11] | 38,75% | 47,5% | 57,5% |
| ViT-B | ML-P | [3, 11] N B | 61,25 | 77,25 | 78,75% |
| ViT-L | ML-P | [3, 11] N B | 61,25 | 76,25 | 81,25% |
| ViT-L | ML-C | [5, 11] N | 35% | 43% | 50% |
| ViT-L | ML-P | [5, 11] N | 57,5% | 70% | 73,75% |
| ViT-L | ML-P | [5, 11] N B | 57,5% | 73,75% | 78,75% |
| ViT-L | ML-P | [5, 20] N B | 48,75% | 58,75% | 61,25% |
| ViT-B | ML-P | [1, 5] N B | 56,25% | 65% | 66,25% |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ViT-L | ML-P | [4,12,20] N B | 50% | 60% | 62,25% |
| ViT-L | FLAT | N B | 80% | 91,25% | 91,25% |
| ViT-L | FLAT | B S/C N | 85% | 90% | 91,25% |
| ViT-L | FLAT | S/C N | 78,75% | 91,25% | 92,50% |
| ViT-L | FLAT | B S/C N R | 78,75% | 95% | 96,25% |
| ViT-L | FLAT | S/C N R | 80% | 95% | 95% |
| ViT-L | ML-F | [3,11] N S/C | 67,5% | 82,5% | 82,5% |
| ViT-L | ML-F | [3,11] N B S/C | 71,25% | 85% | 86,25% |
| ViT-L | ML-F | [3,11] N B S/C R | 77,5% | 96,25% | 96,25% |
| ViT-L | ML-F | [0-11] N B S/C R | **80%** | **96,5%** | **96,5%** |

**Tabla 2. Resultados Segundo Bloque de Experimentos**

| Modelo | Caso | Detalle | Top-1 | Top-3 | Top-5 |
|---|---|---|---|---|---|
| ViT-L | ML-F | [0] N B S/C R | 61,25% | 76,25% | 78,75% |
| ViT-L | ML-F | [0-5] N B S/C R | 72,5% | 83,75% | 87,5% |
| ViT-L | ML-F | [0-11] N B S/C R | **77,5%** | **85%** | **88,75%** |
| ViT-L | ML-F | [0-15] N B S/C R | 70% | 82,5% | 85% |
| ViT-L | ML-F | [0-20] N B S/C R | 47,5% | 53,75% | 56,25% |
| ViT-L | ML-F | [0-23] N B S/C R | 31,25% | 43,75% | 46,25% |

**Tabla 3. Resultados Tercer Bloque de Experimentos**

| Modelo | Caso | Detalle | Top-1 | Top-3 | Top-5 |
|---|---|---|---|---|---|
| ViT-L | ML-F | [0]\|N\|B\|S/C\|R | 61,25% | 76,25% | 78,75% |
| ViT-L | ML-F | [5]\|N\|B\|S/C\|R | **75%** | **83,75%** | **87,5%** |
| ViT-L | ML-F | [11]\|N\|B\|S/C\|R | 46,25% | 57,5% | 62,5% |
| ViT-L | ML-F | [15]\|N\|B\|S/C\|R | 3,75% | 6,25% | 6,25% |
| ViT-L | ML-F | [20]\|N\|B\|S/C\|R | 8,75% | 15% | 16,25% |
| ViT-L | ML-F | [23]\|N\|B\|S/C\|R | 23,75% | 35% | 37,5% |

Por otro lado, en la Figura 2 se presentan cuatro ejemplos de búsquedas junto con sus cinco vecinos más cercanos. La primera imagen de cada fila corresponde a la consulta, mientras que las imágenes siguientes muestran los cinco resultados más similares en orden de proximidad.

En todos los casos, el primer resultado coincide con la imagen correcta de la base de datos, aunque existen pequeñas variaciones en color, forma o tamaño. Por ejemplo, en la primera búsqueda, la imagen de la base de datos presenta estrellas en la parte superior que la consulta no incluye; en la segunda, correspondiente al logo de la Juventus, la consulta aparece en negro mientras que la respuesta es de un gris más claro; en la tercera se observan diferencias tanto de color como de tamaño; y en la cuarta, la consulta está en blanco y negro mientras que la respuesta se muestra en colores rojo, amarillo y negro. Estos ejemplos ilustran la robustez del método frente a cambios visuales en las imágenes.




**Figura 2. Ejemplo de Consultas y NN5**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 7. Análisis de Resultados

En el primer bloque de experimentos (Tabla 1) se observaron varias tendencias relevantes. En primer lugar, al comparar directamente el rendimiento entre modelos, ViT-Large superó claramente a ViT-Base en los casos más simples (CLS y Max-Pooling), mostrando mejoras notables en todas las métricas Top-*k*. Sin embargo, en configuraciones más complejas como ML-C con bloques [3,11], se registró un comportamiento inverso: ViT-Base alcanzó mejores resultados que ViT-Large, lo cual sugiere que la elección de bloques intermedios en la estrategia multi-capa no escala de manera lineal con el tamaño del modelo. Asimismo, la transición de ML-C a ML-P (tanto en ViT-B como en ViT-L) implicó una mejora consistente del desempeño, confirmando que la combinación basada en *max pooling* ofrece representaciones más discriminativas que el promedio del token CLS.

En cuanto al preprocesamiento, los resultados indican que la aplicación de *Gaussian Blur* tuvo efectos variables: en algunos casos, como ViT-Large con Max-Pooling, produjo un deterioro del rendimiento (p. ej., disminución significativa en Top-1), mientras que en estrategias como ML-P con bloques [5,11], la presencia de *blur* generó una leve mejora. Este comportamiento sugiere que el impacto de la suavización depende de la arquitectura interna y de la capa de donde se extraen los embeddings. Por otra parte, la exclusión del token CLS (N/C) mostró beneficios consistentes en configuraciones basadas en Flatten, ya que eliminó un componente que en ocasiones introducía ruido en la representación global.

Otro hallazgo importante en este bloque proviene del uso del preprocesamiento RECT (recorte al rectángulo mínimo), el cual mejoró significativamente los resultados en configuraciones Flatten, alcanzando mejoras sustanciales en Top-3 y Top-5. En particular, la combinación ViT-Large, Flatten, [0–11] con Normalización, Blur y Rect alcanzó uno de los mejores desempeños globales, superando ampliamente otras variantes.

El segundo bloque de experimentos (Tabla 2) exploró la acumulación progresiva de bloques en ViT-Large bajo la estrategia ML-Flat. Los resultados evidencian una curva de desempeño ascendente hasta la combinación de los primeros 11 bloques ([0–11]), donde se alcanzó el mejor rendimiento, con un Top-1 del 77,5% y Top-5 del 88,75%. A partir de este punto, la incorporación de más bloques redujo progresivamente la precisión, hasta llegar a un marcado descenso en la combinación de todos los bloques ([0–23]). Esto indica que la combinación de demasiadas capas puede introducir redundancia o ruido que degrada la calidad de los embeddings, siendo más efectivo un subconjunto intermedio de capas.

En el tercer bloque de experimentos (Tabla 3) se evaluó el uso de bloques individuales en ViT-Large con la misma estrategia ML-FLAT. Aquí se corroboró la tendencia observada en el bloque anterior: los bloques intermedios (en particular el bloque 5) ofrecieron el mejor rendimiento individual, con un Top-1 del 75% y un Top-5 del 87,5%. En contraste, tanto los primeros como los últimos bloques presentaron desempeños considerablemente inferiores, llegando incluso a valores mínimos en el bloque 15 (Top-1 de apenas 3,75%). Este comportamiento confirma que los bloques intermedios contienen representaciones más discriminativas y balanceadas, mientras que las capas iniciales y finales tienden a capturar características demasiado básicas o demasiado especializadas, respectivamente.

## 8. Conclusiones y Trabajo Futuro

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten extraer varias conclusiones relevantes. En primer lugar, se confirmó de manera consistente la superioridad del modelo ViT-Large respecto de ViT-Base en la tarea de búsqueda por similitud de logos, lo cual evidencia la relevancia de arquitecturas de mayor capacidad para este tipo de problemas. En particular, los experimentos demostraron que las configuraciones basadas en el uso de múltiples capas (ML) y en el caso Flatten (ML-F) alcanzaron los niveles de desempeño más altos, superando ampliamente a las configuraciones más simples que empleaban únicamente el token CLS o la estrategia de max-pooling.

Asimismo, los preprocesamientos aplicados mostraron un efecto no trivial sobre los resultados. Mientras que el Gaussian Blur tendió a reducir la precisión en la mayoría de los casos, la transformación de las imágenes al rectángulo mínimo (RECT) contribuyó a una mejora consistente, especialmente en configuraciones multi-capa y flatten. Estos hallazgos sugieren que la calidad de las representaciones no depende únicamente de la arquitectura utilizada, sino también de las decisiones de preprocesamiento aplicadas sobre los datos de entrada.

Otro aspecto destacable es que la selección de los bloques de la arquitectura empleados para la extracción de características no evidenció un patrón lineal ni directamente transferible entre arquitecturas de distinta escala. En varios casos, combinaciones de bloques bajos y medios alcanzaron un mejor rendimiento que combinaciones que, en principio, parecían equivalentes entre ViT-B y ViT-L, lo que indica que la correspondencia entre niveles de representación no siempre se preserva al aumentar la profundidad del modelo.

Finalmente, es importante destacar que, si bien estudios previos utilizando ResNet50 en la misma base de datos y con idénticas consultas habían alcanzado resultados muy competitivos (con top-5 de hasta 95% en configuraciones como *pool1_pool* o *pool1_pool + conv3_block4_out*), el uso de ViT en su mejor configuración permitió superar dichos valores, alcanzando un 96,5% en top-5. Esta diferencia, aunque marginal, resulta significativa por tratarse de arquitecturas de naturaleza distinta y confirma que los ViT constituyen una

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



alternativa robusta y de alto rendimiento para tareas de búsqueda por similitud de imágenes.

A partir de los hallazgos de este estudio, se identifican distintas líneas de investigación futura que permitirán consolidar y ampliar los resultados alcanzados, así como explorar nuevas posibilidades en la recuperación de imágenes mediante aprendizaje profundo:

- **Evaluación comparativa más amplia**: extender el análisis entre ViT y CNN a diferentes bases de datos y dominios (pinturas, fotografías de objetos cotidianos, documentos escaneados), para determinar con mayor precisión en qué contextos cada enfoque resulta más ventajoso.
- **Reducción de dimensionalidad**: investigar técnicas como PCA, autoencoders o métodos de cuantización de productos, que permitan disminuir el costo de almacenamiento y cómputo de los vectores de características sin degradar significativamente la precisión.
- **Arquitecturas híbridas**: explorar la combinación de ViT y CNN, integrando la capacidad de los primeros para modelar dependencias globales con las propiedades jerárquicas locales de las redes convolucionales.
- **Mejoras en el preprocesamiento**: evaluar técnicas adicionales, como normalización de color, aumentos de datos específicos para logos o segmentación automática, con el fin de incrementar la robustez frente a variaciones intra-clase.
- **Escalabilidad en entornos reales**: validar el sistema en escenarios de búsqueda a gran escala, midiendo no solo la precisión, sino también la eficiencia, la capacidad de respuesta a consultas masivas y la factibilidad de integración en sistemas reales de recuperación de información.

En conjunto, estas líneas de trabajo futuro permitirán consolidar y ampliar las contribuciones del presente estudio, situando a los ViT como una herramienta de referencia en el campo de la recuperación de imágenes mediante aprendizaje profundo, al tiempo que se exploran alternativas complementarias para optimizar tanto el rendimiento como la aplicabilidad práctica del sistema.

## Referencias

[1] Pascal, A., Bonti, A., Vidal, Z., Bonti, I., Tonelotto, L. Búsquedas por Similitud de Logos: Extracción de Características usando IA en Escenarios de Datos Escasos. CoNaIISI (2023), Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.

[2] Datta, R., Joshi, D., Li, J., & Wang, J. Z. (2008). Image retrieval: Ideas, influences, and trends of the new age. ACM Computing Surveys, 40(2), 1–60.

[3] Smeulders, A. W. M., Worring, M., Santini, S., Gupta, A., & Jain, R. (2000). Content-based image retrieval at the end of the early years. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(12), 1349–1380.

[4] Chávez, E., Navarro, G., Baeza-Yates, R., & Marroquín, J. L. (2001). Searching in metric spaces. ACM Computing Surveys, 33(3), 273–321.

[5] Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 25, 1097–1105.

[6] Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. International Conference on Learning Representations (ICLR).

[7] Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1–9).

[8] Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 4700–4708.

[9] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770–778.

[10] Pascal, A., Planas, A., Vidal, Z., Bonti, A., Tonelotto, L., Castiglioni, L., Image Feature Extraction for Similarity Searching Using Transfer Learning with ResNet, CACIC (2024), Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Buenos Aires – Argentina.

[11] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., & Houlsby, N. (2021). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. International Conference on Learning Representations (ICLR).

[12] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, 30, 5998–6008. https://arxiv.org/abs/1706.03762

[13] Raghu, M., Unterthiner, T., Kornblith, S., Zhang, C., & Dosovitskiy, A. (2021). Do vision transformers see like convolutional neural networks? Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 34, 12116–12128.

[14] Carion, N., Massa, F., Synnaeve, G., Usunier, N., Kirillov, A., & Zagoruyko, S. (2020). End-to-End Object Detection with Transformers. European Conference on Computer Vision (ECCV).

[15] Strudel, R., Garcia, R., Laptev, I., & Schmid, C. (2021). Segmenter: Transformer for semantic segmentation. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 7262–7272.

[16] Touvron, H., Cord, M., Douze, M., Massa, F., Sablayrolles, A., & Jégou, H. (2021). Training data-efficient image transformers & distillation through attention. arXiv preprint arXiv:2012.12877. https://arxiv.org/abs/2012.12877.

[17] El-Nouby, A., Goyal, N., Bachmann, R., Misra, I., Baraldi, L., Almazán, J., & Joulin, A. (2021). XCiT: Cross-Covariance Image Transformers. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).

[18] Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., Ramesh, A., Goh, G., Agarwal, S., & Sutskever, I. (2021). Learning transferable visual models from natural language supervision. International Conference on Machine Learning (ICML), 8748–8763.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[19] Saryanto, Saryanto & Andriyani, Widyastuti. (2024). Gaussian Blur Filter Effect Analysis on Facial Detection Accuracy Using Viola Jones Method. IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems). 18. 10.22146/ijccs.96017.

[20] Arslan, Emrah & Zare, Omid & Mohseni, Zeinab & Beigzadeh, Mahdi & Bzuayene, Abel Abebe & Sori, Ali & Hassannataj Joloudari, Javad & Kussia, Bulbula. (2025). Image Quality Assessment for Gaussian Blur using Siamese Network combined with ResNet-18. 10.18282/aii4668.

[21] Den Boer, Lennert. (2016). A Fast Algorithm for Generating a Minimal Bounding Rectangle. 10.13140/RG.2.1.1896.1525/1.

[22] Fuller, A., Yassin, Y., Kyrollos, D. G., Shelhamer, E., & Green, J. R. (2025). Simpler fast vision transformers with a jumbo CLS token. arXiv preprint arXiv:2502.15021. https://arxiv.org/abs/2502.15021

[23] Wu, Letian & Zhang, Wenyao & Jiang, Tengping & Yang, Wankou & Jin, Xin & Zeng, Wenjun. (2023). [CLS] Token is All You Need for Zero-Shot Semantic Segmentation. 10.48550/arXiv.2304.06212.

[24] Achmadiah, Mas & Setyawan, Novendra & Risdhayanti, Anindya. (2025). Deteksi Kepadatan Penumpang di Stasiun Kereta Api Berbasis ViT-Base pada Jetson Orin Nano. Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri. 12. 153-161. 10.33795/elkolind.v12i1.7495.

[25] Steiner, A., Kolesnikov, A., Zhai, X., & Houlsby, N. (2021). How to train your ViT? Data, augmentation, and regularization in vision transformers. Transactions on Machine Learning Research. https://arxiv.org/abs/2106.10270

[26] Ko, B., Kim, H.-G., Heo, B., Yun, S., Chun, S., Gu, G., & Kim, W. (2022). Group generalized mean pooling for vision transformer. arXiv preprint arXiv:2212.04114. https://arxiv.org/abs/2212.04114

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Pronóstico de la Demanda Eléctrica mediante Técnicas de Inteligencia Artificial

*Díaz, Daniela Elisabet; Brancatti, Lautaro Tomás; Del Solar, Marcos Ariel; Scarpecci, Tomás Agustín*
*Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Rosario*
*danyelisabet@gmail.com; lautarobrancatti03@gmail.com; marcosdelsolar7@gmail.com; scarpeccitomas@gmail.com*

## Resumen

*Este trabajo presenta un modelo de Inteligencia Artificial basado en una arquitectura híbrida compuesta por capas convolucionales uni-dimensionales y redes LSTM, utilizado para el pronóstico de la demanda eléctrica en Ibarlucea, localidad del departamento Rosario, Santa Fe, Argentina, entrenado con datos del consumo eléctrico provistos por la Cooperativa local y variables climáticas (temperatura y velocidad del viento) registradas por el Servicio Meteorológico Nacional entre el segundo semestre de 2024 y el primero de 2025. El modelo alcanzó un coeficiente de determinación ($R^2$) de 0.68, evidenciando un desempeño adecuado y constituyendo un punto de partida para futuros perfeccionamientos.*

## 1. Introducción

La planificación estratégica de la demanda eléctrica es fundamental para optimizar la gestión de los sistemas de distribución de energía, ya que permite un uso más eficiente de los recursos disponibles, mejora la organización operativa y reduce la probabilidad de interrupciones del servicio. Las variaciones en la demanda energética de una población responden a múltiples factores, tanto exógenos (como la temperatura o la velocidad del viento) como endógenos (hábitos de consumo residencial, estructura tarifaria y capacidad industrial instalada). Estas variables interactúan de manera compleja, generando patrones de comportamiento que rara vez siguen relaciones lineales simples. En consecuencia, la predicción del consumo de energía constituye un desafío, ya que requiere modelos capaces de capturar estas dinámicas no lineales y adaptarse a escenarios cambiantes.

En este contexto, los métodos tradicionales de pronóstico, como los modelos ARIMA [25], resultan limitados frente a la variabilidad y no linealidad de los datos. Por el contrario, las técnicas de aprendizaje profundo, en particular las redes neuronales LSTM (Long Short-Term Memory), ofrecen ventajas sustanciales al ser capaces de capturar dependencias temporales de largo plazo sin necesidad de una ingeniería de características exhaustiva [1]. Las LSTM constituyen una variante de las redes neuronales recurrentes diseñadas por Hochreiter y Schmidhuber (1997) para superar el problema del desvanecimiento del gradiente en secuencias largas [2], lo que las convierte en una herramienta eficaz para modelar series temporales complejas, como las asociadas al consumo eléctrico.

A su vez, las redes convolucionales (CNN) permiten filtrar ruido y extraer patrones locales relevantes de los datos de entrada, enriqueciendo el proceso de aprendizaje.

En función de estas ventajas complementarias y con el fin de mejorar la calidad de la predicción final, se implementó un modelo híbrido que combina ambas arquitecturas, en el cual los datos históricos pasan por varias capas de una red convolucional simple unidimensional, para capturar patrones locales y, posteriormente, las salidas de esta red se van concatenando en una red LSTM valiéndose de sus capacidades de memoria a largo plazo [3].

La disponibilidad de pronósticos confiables de corto plazo constituye una herramienta valiosa para pequeños distribuidores de energía, al facilitar la planificación operativa, la prevención de sobrecargas y la reducción del riesgo de fallas en la red. Además, en escenarios urbanos caracterizados por la creciente integración de energías renovables, conocer el comportamiento esperado de la demanda se vuelve esencial para garantizar la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas eléctricos [4].

Diversos estudios previos han mostrado avances significativos en el pronóstico de la demanda a gran escala, como el caso de la provincia de Entre Ríos [5]. A diferencia de dichos trabajos, nos centramos en el estudio de la demanda de un gran consumidor de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPESF), la Cooperativa de Energía y Consumo de Ibarlucea (CECI) Ltda., logrando predecir el consumo eléctrico en las próximas 24 horas.

Los datos de consumo utilizados provienen de la conexión principal de la CESI, agrupando alrededor de 1.500 usuarios residenciales y comerciales. Estos valores fueron medidos con un dispositivo inteligente en intervalos de 15 minutos y almacenados en una base de datos relacional. Los registros climáticos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se encuentran disponibles de manera horaria, medidos en el Aeropuerto Internacional Rosario “Islas Malvinas”, ubicado a 10 km de la Comuna.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 2. Fundamentos de las Redes Neuronales utilizadas

### 2.1. Redes Convolucional Unidimensional

Una capa convolucional unidimensional (Conv1D) en aprendizaje profundo está diseñada para procesar datos de secuencias unidimensionales, lo que la convierte en una herramienta especialmente adecuada para tareas basadas en series temporales. Este tipo de capa resulta eficaz en contextos donde los datos presentan una estructura lineal y secuencial, como ocurre en la predicción del consumo de energía, el análisis de audio, la previsión de series financieras o el procesamiento del lenguaje natural (PLN). La operación fundamental de una Conv1D consiste en el desplazamiento de un filtro convolucional (kernel) a lo largo de la secuencia de entrada. Dicho filtro, cuyos pesos son optimizados durante el entrenamiento, multiplica los valores de entrada en un segmento de la secuencia y los combina para generar una representación compacta. Este proceso se repite sobre toda la secuencia, produciendo como salida una nueva representación en la que se destacan patrones y características relevantes. En el marco del estudio, la capa Conv1D permite filtrar ruido en los datos y extraer patrones locales que enriquecen la representación de las series temporales. Sin embargo, dado que el consumo energético no solo depende de patrones locales, sino también de la dinámica de largo plazo y de la dependencia entre valores pasados y futuros, resulta necesario integrar una red LSTM.

### 2.2. Redes con Memoria a Corto-Largo Plazo

Las Redes con Memoria a Corto-Largo Plazo (LSTM, Long-Short Term Memory) [7] son un tipo de Red Neuronal Recurrente (RNN) diseñada para procesar y predecir secuencias de datos a largo plazo, mediante el uso de "celdas" de memoria y "puertas" que controlan el flujo de información.

Su principal ventaja es que resuelven el problema del desvanecimiento o explosión del gradiente (vanishing and exploding gradients) [27], frecuente en las RNN cuando se entrenan con datos secuenciales largos limitando su capacidad para recordar información relevante a lo largo de secuencias extensas. Para ello, incorpora una arquitectura interna especializada que permite un flujo de información más controlado introduciendo una célula de memoria (cell state) que transporta información relevante a lo largo de la secuencia, y un conjunto de compuertas (gates), de entrada, de olvido y de salida, que regulan qué información se añade, se retiene o se elimina de la célula de memoria, respectivamente [8]. Esto previene que los gradientes se desvanezcan, permitiendo a la red aprender y recordar información de secuencias largas de manera efectiva.

Mediante estas puertas, las redes LSTM pueden retener información de forma efectiva a lo largo de muchas iteraciones, que en nuestro caso representa a la demanda de energía eléctrica a lo largo del tiempo para un territorio determinado.

En la Figura 1 se observa el funcionamiento interno de una celda LSTM. La misma se compone de dos estados principales: el estado de celda ($c_t$) y el estado oculto ($h_t$), los cuales permiten mantener y transferir información a lo largo de la secuencia. El flujo de información es regulado por tres compuertas: la **puerta de olvido**, que decide qué información proveniente del estado de celda anterior ($c_{t-1}$) debe descartarse; la **puerta de entrada**, que determina qué nueva información es incorporada al estado de celda a partir de la entrada actual ($x_t$) y del estado oculto previo ($h_{t-1}$); y la **puerta de salida**, que regula qué parte del estado de celda actualizado contribuye a generar el nuevo estado oculto ($h_t$). El mecanismo de combinación de funciones sigmoides ($\sigma$) y tangente hiperbólica (tanh) permite controlar de forma diferenciada qué información se atenúa, se conserva o se transforma, asegurando así un flujo de gradientes más estable durante el entrenamiento.

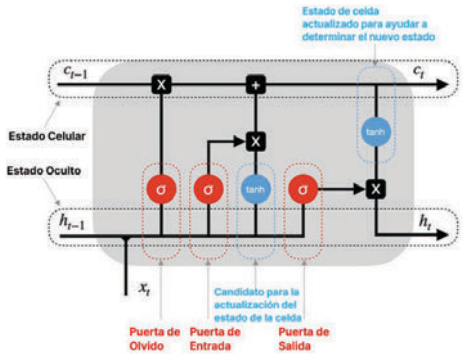



Figura 1: Arquitectura de la unidad LSTM.

El uso de este tipo de redes para el pronóstico de la demanda eléctrica se justifica por su capacidad para modelar relaciones no lineales entre variables de entrada, como la temperatura, el día de la semana y otros factores climáticos que inciden en el consumo de energía. En estudios previos, (comparativa realizado entre LSTM y SARIMAX, vease [5] ), se observó que las LSTM superaron significativamente a los modelos ARIMA, alcanzando un coeficiente de determinación $R^2$ de 0.77 frente a 0.40 del SARIMAX, lo que demuestra su mayor precisión para anticipar la demanda energética.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 3. Descripción del Modelo Propuesto

El diagrama de la Figura 2 representa de manera sintética el flujo completo del trabajo realizado en el modelo de pronóstico de la Energía Activa de la Comuna de Ibarlucea.

El proceso se organizó en tres etapas, por un lado la Preparación de los datos, donde integramos los dataset de la CECI con los del SMN. Se aplicaron distintas técnicas de preprocesamiento para la fusión de datos, un análisis exploratorio y filtrado (EDA), ingeniería de características, normalización y generación de secuencias. Por otra parte, tenemos la Construcción y Entrenamiento del Modelo, donde se definió la arquitectura, la división en conjuntos de entrenamiento y validación, y la evaluación iterativa del modelo hasta lograr un desempeño adecuado. Por último, se observa el bloque Pronóstico, que explica el uso del modelo, donde se simuló un entorno de ejecución real y se generaron los pronósticos, evaluando su desempeño.

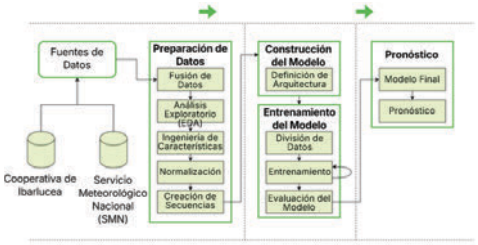



Figura 2: Diagrama de Flujo para la Construcción del Modelo de Pronóstico.

El modelo propuesto es una red neuronal profunda (deep neural network) diseñada para procesar secuencias multivariadas de entrada y generar predicciones temporales univariables. La arquitectura combina capas LSTM para capturar dependencias temporales, capas de Dropout [9] para evitar el sobreajuste, y capas convolucionales que permitan capturar patrones de la serie temporal.

El objetivo principal es mapear dos secuencias de entrada, una de forma ($B\_S$, 168, 12), y otra de ($B\_S$, 24, 11), a una secuencia de salida de forma ($B\_S$, 24, 1); donde $B\_S$ es el tamaño variable del lote ($Batch\_Size$). Cada ingreso cuenta con 24 y 168 registros que representan los datos conocidos del futuro y una semana de datos pasados; ambos difieren en una variable, teniendo la cantidad de 11 y 12 columnas cada matriz, ya que no se conoce la variable objetivo a pronosticar para los datos futuros. Estos valores se representan en la salida conformando un vector unidimensional de 24 valores pronosticados.

**Vector de Entrada:**

$$\text{VE} = \begin{bmatrix} \text{Temperatura, Velocidad, Energia\_Activa,} \\ \text{Vacaciones\_Escolares,} \\ \text{Feriado\_Obligatorio,} \\ \text{Feriado\_Puente, Hora\_Sin, Hora\_Cos,} \\ \text{Dia\_Sin, Dia\_Cos, Mes\_Sin, Mes\_Cos} \end{bmatrix}$$

**Matriz de Entrada:**

$$\begin{bmatrix} t_0, & V_0, & E_0, & \dots & DC_0 \\ t_1, & V_1, & E_1, & \dots & DC_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{23}, & V_{23}, & E_{23}, & \dots & DC_{23} \\ t_{24}, & V_{24}, & E_{24}, & \dots & DC_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{47}, & V_{47}, & E_{47}, & \dots & DC_{47} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{166}, & V_{166}, & E_{166}, & \dots & DC_{166} \\ t_{167}, & V_{167}, & E_{167}, & \dots & DC_{167} \end{bmatrix}$$

**Vector de Salida:**

$$\begin{bmatrix} E_0, E_1, E_2, \dots, E_{23} \end{bmatrix}$$

**Matriz de Variables Conocidas:**

$$\begin{bmatrix} t_0, & V_0, & VE_0, & \dots, & DC_0 \\ t_1, & V_1, & VE_1, & \dots, & DC_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{23}, & V_{23}, & VE_{23}, & \dots, & DC_{23} \end{bmatrix}$$

Observamos que la Matriz de Entrada está compuesta por registros medidos por horas, donde cada uno tiene los valores de las variables presentes en el Vector de Variables (Explicadas en la Tabla 1). Las variables temporales fueron codificadas con funciones trigonométricas para mejorar el aprendizaje del modelo [11]. Existen datos conocidos del futuro representados en la Matriz de Variables Conocidas con los 24 registros correspondientes al día del cual se busca pronosticar. El Vector de Salida muestra las 24 horas de Energía Activa predicha, la cual es nuestra variable objetivo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Tabla 1: Variables del modelo de predicción.

| Variable | Tipo | Descripción |
|---|---|---|
| Temperatura | Float | Temperatura ambiente en grados Celsius registrada por hora |
| Velocidad del viento | Float | Velocidad del viento en km/h medida horariamente |
| Energía Activa | Float | Consumo de energía eléctrica activa en kWh |
| Día_Cos, Día_Sin | Float | Representación cíclica del día de la semana. |
| Hora_Cos, Hora_Sin | Float | Representación cíclica de la hora del día. |
| Mes_Cos, Mes_Sin | Float | Representación cíclica del mes del año. |
| Feriado Obligatorio | Boolean | Indicador binario de feriado obligatorio. |
| Feriado puente | Boolean | Indicador binario de feriado puente. |

En la Figura 3 puede observarse una representación gráfica de la arquitectura de la red. La misma, fue realizada con la librería de Visualkeras. En dicha figura, cada bloque representa una capa de la red neuronal, luego el orden de izquierda a derecha muestra cómo fluyen los datos desde la entrada a la salida.

La dimensión de cada capa representa el tamaño de los tensores. Por lo tanto, el tamaño visual del bloque representa la dimensionalidad de la salida de la capa. Además, puede notarse que la capa Concatenate es más grande porque su salida es una matriz de $(168 \times 192)$; mientras que la salida de la LSTM es un tensor unidimensional de 128 elementos. Las últimas capas se muestran más pequeñas porque no cambian significativamente la dimensionalidad, sino que hacen un Cuello de Botella de Información (Information Bottleneck) reduciendo el tensor hasta llegar a los 24 valores representativos del pronóstico.

El diagrama de flujo del modelo (Figura 4) representa la arquitectura y sus conexiones, permitiendo observar el movimiento de los datos de forma completa, considerando que la capa inicial recibe todos los valores de la matriz de entrada hasta la capa de salida que genera la predicción del consumo de energía activa. A diferencia de la representación gráfica de la arquitectura (Figura 3) este diagrama detalla el tamaño exacto de los tensores de entrada y salida de cada capa, además de representar de mejor forma las dos entradas que tiene el modelo (matriz de entrada con los datos pasados y la matriz con los datos conocidos del futuro) y las capas en las que se concatena información.

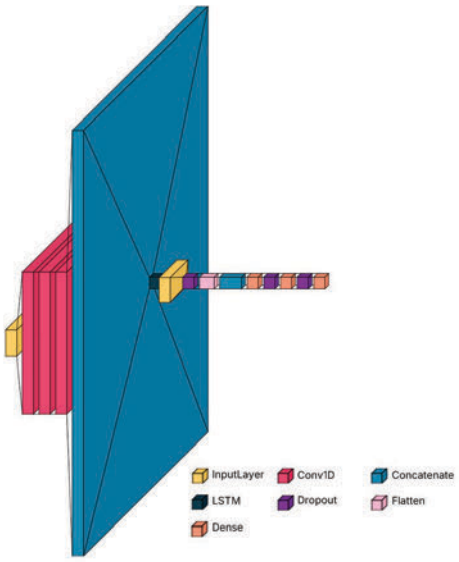



Figura 3: Representación Gráfica de la Arquitectura de la Red.

### 3.1. Flujo de Datos y Capas

A continuación, se detalla el recorrido de los datos a través de las capas del modelo, desde la entrada hasta la generación del pronóstico final, tal como se muestra en la Figura 4 .

1. **Capa de entrada:**
   - *Input Layer:* Acepta tensores de forma $[B\_S, 168, 12]$, representando lotes de secuencias de 168 pasos temporales (una semana del pasado) con 12 variables cada una.
2. **Capas convolucionales paralelas:**
   - *Conv1D Layer:* Tres capas `Conv1D` independientes con 64 filtros cada una y tamaños de kernel de 24, 12 y 6, respectivamente. Estos tamaños representan la cantidad de horas (pasos en el tiempo) que se observan simultáneamente para detectar los patrones. Cada capa captura patrones con una frecuencia distinta. Todas las ramas utilizan activación ReLU e incluyen el parámetro `padding='causal'`, asegurando que cada predicción solo dependa de los valores pasados. El resultado son tres vectores de 168 registros, que al aplicar los 64 filtros generan matrices de $168 \times 64$.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



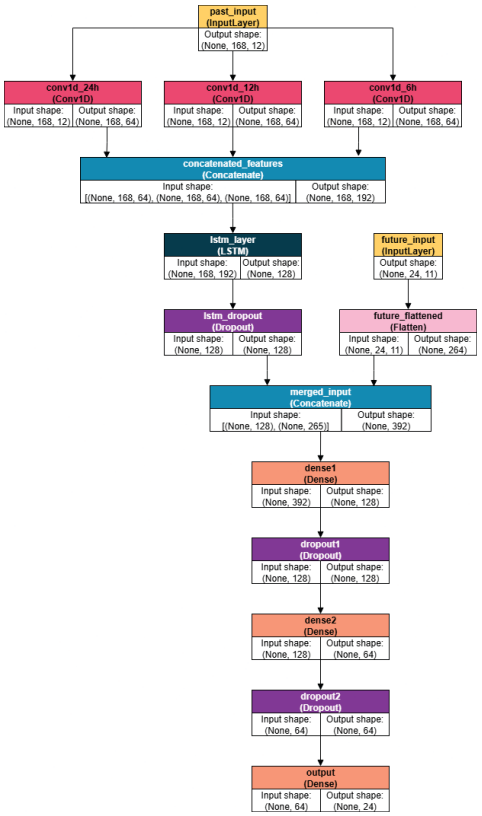



Figura 4: Diagrama de flujo del modelo.

3. **Concatenate:**
   - Las tres salidas `Conv1D` se concatenan a lo largo de la dimensión de características, dando lugar a un tensor de forma $[B_S, 168, 192]$ (64 filtros $\times$ 3 ramas). Este vector resume la información espacial-temporal extraída a distintas escalas.
4. **Capa LSTM:**
   - *LSTM Layer:* Una capa unidimensional de 128 unidades que procesa la secuencia y tiene como salida un vector unidimensional de $[B\_S, 128]$. Modela dependencias temporales reteniendo la información relevante sobre la dinámica del consumo de la semana previa.
   - *Dropout:* Se aplica una tasa del 20 % para evitar el sobreajuste apagando aleatoriamente neuronas durante el entrenamiento.
5. **Future Input:**
   - *Input Layer:* Ingreso de las variables conocidas del futuro (todas excepto la Energía Activa, la variable objetivo). Es una matriz de $(24 \times 11)$, donde 24 corresponde a las horas futuras a pronosticar y 11 a las variables.
   - *Future Flatten:* Convierte la entrada en un vector unidimensional de 264 elementos $(24 \times 11)$.
6. **Concatenate:**
   - *Merged Input:* Combina el vector de variables futuras con la salida de la capa LSTM, resultando en un vector de 392 elementos (264 + 128). Esta salida es la entrada a las capas densas posteriores.
7. **Dense:**
   - Las capas densas (`dense1` y `dense2`) actúan como la cabeza de la regresión. La primera procesa el vector fusionado (`merged_input`) y lo transforma en un formato adecuado para la predicción. La capa de salida final (`output`) produce exactamente 24 valores, correspondientes a las 24 horas siguientes.

## 4. El DataSet Utilizado

Como ya se ha detallado, este informe fue realizado utilizando dos dataset, uno de la CECI y otro con los registros del SMN. La Cooperativa cedió un archivo con extensión .csv (Comma-Separated Values, valores separados por comas; siendo un archivo de texto plano que almacena datos tabulares), con las siguientes columnas: Fecha - Hora, Energía Activa, Energía Reactiva y Potencia Activa.

Los registros almacenados en el archivo fueron generados en lapsos de 15 minutos. Los mismos se promediaron para tener un registro del consumo instantáneo promedio en una hora.

Los datos del SMN se encuentran publicados en su web de forma individual por día y para todas las estaciones meteorológicas del país. Se programó un emulador de navegador con la librería de Python Selenium [12] que descargaba de forma automática los archivos .txt (Plain Text, texto plano) del periodo analizado. Luego, de cada archivo fueron filtrados las mediciones del Aeropuerto Islas Malvinas. Todos estos registros fueron unidos en otro archivo ".csv", el cual incluye las siguientes columnas: Fecha - Hora, Temp [°C], Hum [ %], Presión [hPa], Dirección del Viento [gr] y Velocidad del Viento [km/hr].

Ambos set de datos fueron asociados en un mismo DataSet utilizando la librería Pandas [13] en Python. En

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



total se lograron 8.760 registros, comprendidos desde el 2024-07-01 al 2025-06-30; es decir, datos de un total de 365 días.

Realizando un EDA se descubrió que en los registros había cortes del servicio energético, valores eléctricos atípicos y datos faltantes del SMN.

Durante todo el periodo existen cuatro días para los cuales el SMN tiene publicados los pronósticos pero no las mediciones reales, por lo que se decidió sustituirlos por los pronosticados. Además, existen 3 registros que no tenían la velocidad del viento, por lo que se aproximó con el valor medio entre el valor siguiente y el anterior.

En cuanto a los registros de la CECI, se relevó lo sucedido durante los periodos en los que se encontrados comportamientos atípicos. Entre los motivos detallados por el personal se encuentran cortes del servicio provocados por tormentas, fallas de líneas de distribución, y alimentación de sectores no usuales de la Cooperativa por problemas de distribución de la EPESF.

Se decidió a eliminar los datos que comprenden estas situaciones. Para esto, se definió como cota superior al valor de 3 desvíos estándar filtrando aquellos valores atípicos de altos consumos, como por ejemplo, los días en el mes 03-2025 en los que se alimentó una zona rural por problemas en la red de EPESF. Se definió un límite de error representativo de las fallas de la red. Si el día contiene registros con valores menores a este límite es por un corte del servicio de energía eléctrica. Posteriormente este límite se ajustó al filtrado de 2 desvíos estándar por debajo de la media. Al acortar el límite inferior de 3 a 2 desvíos se pudieron eliminar todos los días que contenían fallas en la red. El dataset resultante cuenta con 7848 registros, resultando en un total de 327 días.

Este proceso de filtrado puede apreciarse gráficamente en la Figura 5 (generada con MatPlotLib [14] y Seaborn [15], al igual que todos los gráficos de este informe). En ella se detallan dos variables de considerable importancia, la Energía Activa y la Temperatura. Las líneas verticales representan los días eliminados por contener valores atípicos, fuera de las bandas comprendidas entre el límite inferior y superior (líneas horizontales)

En las Figuras 6, 7 y 8 puede apreciarse la distribución de frecuencia de los valores encontrados en las variables de Temperatura y Energía Activa y Velocidad del Viento. Para cada una se presenta también un diagrama de caja y bigotes detallando cuartiles, la mediana, los máximos y mínimos. Al analizar los diagramas correspondientes a la Velocidad del Viento se observó un valor extremo interpretado como un error de registro, el cual se eliminó y rellenó como función de las observaciones vecinas.

Se realizó el Test Normalidad de Kolmogorov-Smirnov en las dos primeras concluyendo que ninguna de las variables provienen de una distribución normal. Este resultado puede verse sesgado por el tamaño reducido de la muestra y la depuración previa de valores extremos. Sin embargo, según el Teorema Central del Límite, podemos considerar que estas variables a medida que la cantidad de registros aumenten tenderán a la distribución normal [16]. En cuanto a la Velocidad del Viento, la aplicación de este test resulta irrelevante, dado que ya se conoce que sigue una distribución de Weibull [28].

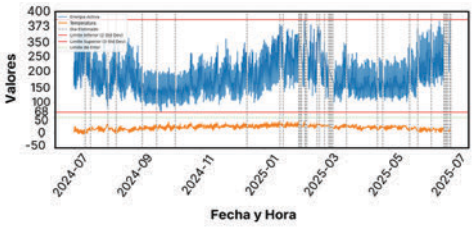



Figura 5: Series de tiempo de la Energía Activa y la Temperatura en el periodo Julio 2024-Julio 2025.

```
-------------- Energia Activa --------------
Estadistico K-S: 0.07921269295337813
p-value: 2.799623857555284e-43
Se rechaza H0 -> los datos no siguen una distribucion
     normal.
```

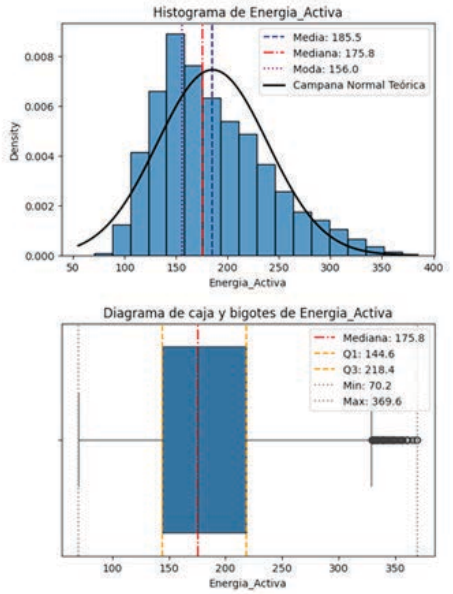



Figura 6: Histograma y Diagrama de caja y bigotes de la Energía Activa.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



```
-------------- Temperatura --------------
Estadistico K-S: 0.0272571206306218
p-value: 1.6903716895237364e-05
Se rechaza H0 -> los datos no siguen una distribucion
     normal.
```

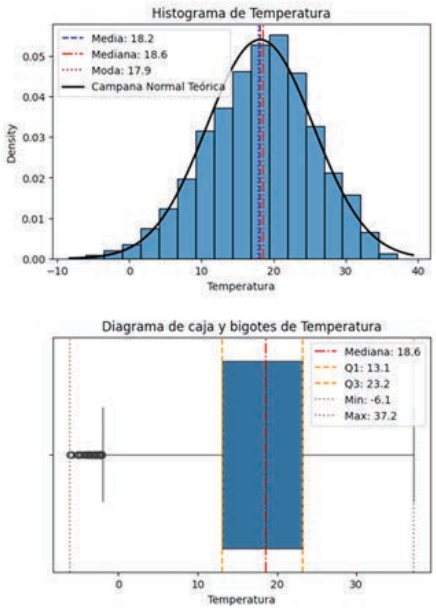



Figura 7: Histograma y Diagrama de caja y bigotes de la Temperatura.

Las Figuras 9 y 10 muestran diagramas de caja y bigotes pero en esta oportunidad discriminando mes a mes la Energía Activa y dibujando la estacionalidad anual de los datos estudiados. Del mismo modo, se realizó con la variable Temperatura. Puede observarse a simple vista que durante los meses que la temperatura tiene una media más alta o más baja que la media anual, el consumo de energía eléctrica tiende a crecer. Este patrón es común en Argentina a nivel nacional; documentos emitidos por el Ministerio de Energía y Minería y CAMESA concluyen que el efecto de "W", apreciable como estacionalidad anual, es provocado por el consumo residencial y que, por encima de los factores económicos o de crecimiento demográfico, la temperatura y la estacionalidad son los condicionantes primarios de las fluctuaciones anuales del consumo [17].

Este supuesto puede apreciarse mejor en la Figura 11. Esta muestra un diagrama de dispersión simple (ScatterPlot) entre las variables Energía Activa y Temperatura, asignando un color distinto a cada observación (punto) según el mes al que pertenece la medición. Puede notarse que la relación entre las variables es aproximadamente

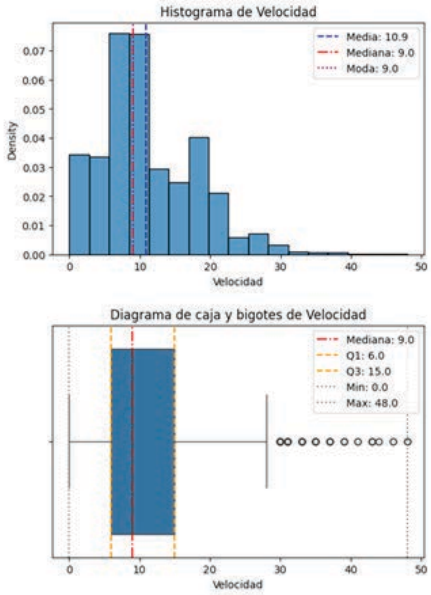



Figura 8: Histograma y Diagrama de caja y bigotes de la Velocidad del Viento.

parabólica. Al realizar un ajuste cuadrático [18] se llega a la función $y = 0{,}33x^2 - 10{,}03x + 240{,}23$ la cual tiene un $R^2$ (de grado 2) de 0.24. Si bien el modelo obtenido no es significativo, es muestra evidente de una relación cuadrática entre estas variables, y de que se necesita de un método más complejo para lograr un modelo con mayor exactitud. En este caso, se ha optado por aplicar técnicas de Inteligencia Artificial, las cuales, según el Teorema de Aproximación Universal, Kurt Hornik, lograrán explicar mejor estas relaciones complejas [19].

Al analizar la autocorrelación de los registros de la variable Energía Activa encontramos que existe estacionalidad en los datos, pues presenta un coeficiente de autocorrelación significativo en el retraso de tiempo estacional y en sus múltiplos. En este caso, como el patrón estacional es diario, se repite cada 24 hs.

La función de autocorrelación es, por definición, una medida de la correlación lineal entre una serie temporal y una versión rezagada de sí misma, medida por el coeficiente de Pearson. Cada barra vertical en el gráfico representa el coeficiente de correlación de Pearson entre la serie temporal de la Energía Activa y la misma serie desplazada un número específico de periodos (Véase la Figura 12). Cuando la autocorrelación tiene un valor mayor al limitado por el intervalo de confianza, quiere decir que es significativamente distinto de cero, con un 95 % de certeza. En este

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



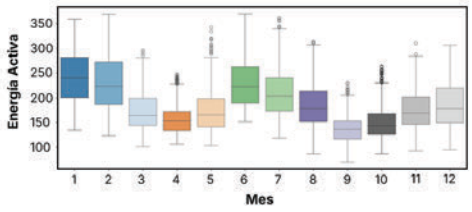



Figura 9: Diagramas de caja y bigotes de Energía Activa por mes.

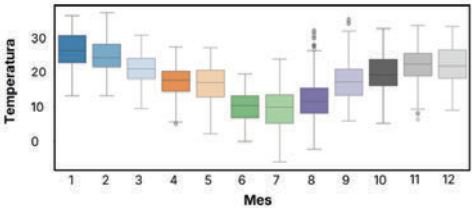



Figura 10: Diagramas de caja y bigotes de Temperatura por mes.

caso al ser estacionalidad diaria, vemos una correlación alta en los múltiplos de 24, implicando que los patrones de consumo de energía se repiten consistentemente a la misma hora cada día. Por ejemplo, el consumo a las 10 a.m. de hoy está fuertemente correlacionado con el consumo a las 10 a.m. de ayer, anteayer, etc [20].

El hecho de que los retrasos subsiguientes a los retrasos de tiempo estacional (retrasos 0, 24, 48) disminuyan con el número de retardos explica la existencia de tendencia en los datos de la Energía Activa.

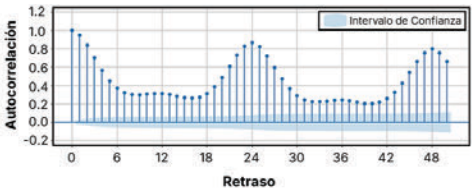



Figura 12: Función de autocorrelación para la Energía Activa.

Puede evaluarse el comportamiento del consumo según el día de la semana, para ello, generamos un gráfico de violín (Véase la Figura 13). Este muestra la mediana y los cuartiles, pero, a diferencia del diagrama de caja y bigotes, su forma de "violín" representa la distribución de densidad de los datos, con las áreas más anchas indicando donde se encuentran la mayoría de las observaciones; permitiendo comparar las distribuciones de las distintas categorías, en

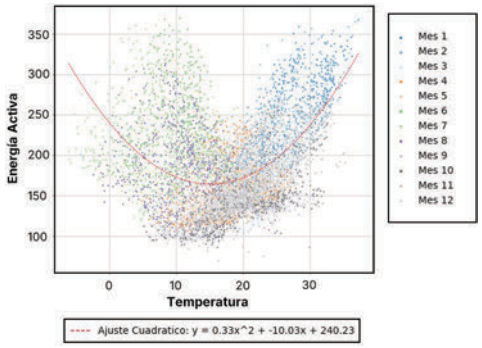



Figura 11: Diagrama de Dispersión Simple entre las variables Temperatura y Energía Activa y modelo ajustado..

nuestro caso, los días [21]. Para cada día de la semana, hay entre 45 y 50 registros (de 24 horas cada día).

Se utilizó el test de ANOVA (Análisis de Varianza) de un factor [22], para determinar estadísticamente que no existen medias significativamente diferentes entre dos o más grupos independientes. Cabe aclarar que este supuesto de independencia puede presentar cierto sesgo en los datos mostrados, pues no son completamente independientes al presentar factores estacionales. Asumimos que sí lo son, pues la única finalidad de la aplicación del test es exploratoria de los datos.

```
Estadistico ANOVA F: 13.1661
Valor p: 0.0000
El valor p es menor que el nivel de significancia
     (0.05).
Se rechaza la hipotesis nula. Hay una diferencia
     significativa entre al menos una de las medias de
     los grupos.
```

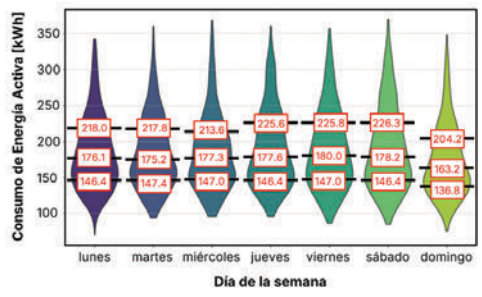



Figura 13: Gráfico de Violín para el Consumo de Energía Eléctrica por día de la semana.

Gráficamente puede notarse que la mayor diferencia en la media es con el domingo, y la distribución densidad muestran que hay mayor concentración de datos en valores

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



más bajos. A nivel país, según informes de CAMMESA, esto es normal, y en nuestro caso puede deberse a que la zona estudiada es residencial y comercial, y al no haber actividad comercial, los valores tienden a bajar.

Para confirmar esta hipótesis utilizamos el test de Tukey (Tukey's Honest Significant Difference) [31], una prueba estadística que se utiliza para realizar comparaciones múltiples por pares de grupos después de que un ANOVA ha demostrado que existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos. A diferencia de ANOVA, HSD demuestra entre qué pares de grupos hay diferencias significativas con la media. En los resultados puede confirmarse la hipótesis visual, la diferencia significativa entre las medias sucede con todos los días versus el domingo. Estadísticamente, la media del domingo es significativamente diferente al resto de los días, presentando un comportamiento distinto.

Análogamente puede hacerse un estudio similar sobre los días feriados para evaluar si hay cambios en el comportamiento. Dado que el dataset cuenta con 17 días feriados, se seleccionaron la misma cantidad de días aleatoriamente de los no feriados, para que el estudio no esté sesgado por la diferencia de tamaño de los grupos. En la Figura 14 se comparan los diagramas de caja y bigotes de Energía Activa y Temperatura de ambos grupos.

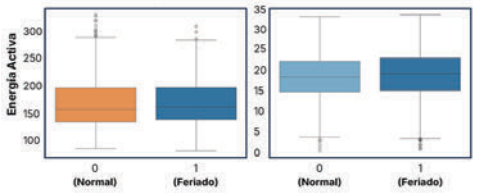



Figura 14: Diagramas de caja y bigotes para las variables Energía Activa y Temperatura por grupo (días feriados vs. días normales).

Realizando la prueba T-Student se concluye que la diferencia de las medias de los dos grupos, tanto en Temperatura como en Energía Activa, no es significativa.

```
Prueba de T-Student - Temperatura
Estadistico t: -0.9677
Valor p: 0.3335
El valor p es mayor que el nivel de significancia
     (0.05).
No se puede rechazar la hipotesis nula. No hay
     evidencia de una diferencia significativa entre
     las medias.
```

```
Prueba de T-Student - Energia Activa
Estadistico t: -0.2922
Valor p: 0.7702
El valor p es mayor que el nivel de significancia
     (0.05).
No se puede rechazar la hipotesis nula. No hay
     evidencia de una diferencia significativa entre
     las medias.
```

Se demuestra estadísticamente que los días feriados en Ibarlucea no influyen para evitar sesgos. Sin embargo, otros estudios ya citados han concluido que los días feriados afectan significativamente la demanda eléctrica.

Como última instancia de preparación de datos, las variables temporales se codificaron como funciones trigonométricas [11] seno y coseno, que proyectan las variables en el círculo unitario. De esta manera, se conserva la continuidad entre valores sucesivos y se facilita que la red neuronal capture patrones periódicos. Con esta representación, los valores diciembre (12) y enero (1), así como las horas 23 y 0, o los días 31 y 1, quedan cercanos en el espacio permitiendo que el modelo comprenda esta cercanía.

## 5. Entrenamiento de la Red Neuronal

Como se ha definido en la sección anterior, el modelo espera una matriz de entrada con los datos de los siete días pasados, más los valores de las variables conocidas del siguiente día para pronosticar las 24 horas del consumo eléctrico. Por ello, la red neuronal fue entrenada utilizando una ventana deslizante representada en la Figura 15, que integra las tres estructuras detalladas. Así, para cada posición de la ventana, se crea una terna con las dos entradas (Matriz de Entrada, Matriz de Variables Conocidas) y la salida (Pronóstico de 24 hs. de Energía Activa). La longitud de la ventana es un hiper-parámetro que se determinó empíricamente.

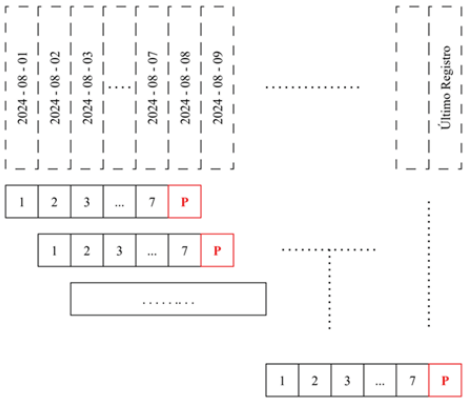



Figura 15: Representación visual de una ventana deslizante.

Los parámetros son las variables internas del modelo, como los pesos y los sesgos, que se aprenden a partir de los datos durante el entrenamiento. Son el resultado del proceso de aprendizaje, y se utilizan para realizar predic-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ciones. En contraste, los hiperparámetros son variables de configuración externas que hemos definido, las cuales no se aprenden a partir de los datos, sino que se determinan empíricamente [23].

Hiperparametros de la Arquitectura:

- Tamaño de la ventana de entrada (INPUT_SEQUENCE_LENGTH): 168 horas
- Horizonte de pronóstico (FORECAST_HORIZON): 24 horas
- Número de filtros (filters) y tamaño de kernel (kernel_size) en las capas Conv1D: 64 filtros y tamaños del kernel de 24, 12 y 6 respectivamente
- Número de unidades en las capas LSTM (128) y densas (128, 64)

Hiperparámetros de Entrenamiento:

- Tasa de Aprendizaje (initial_learning_rate = 0.001): determina la magnitud de los cambios realizados en los pesos del modelo durante cada paso de optimización.
- Tamaño del Lote (batch_size=16): número de ejemplos de entrenamiento que el modelo procesa antes de actualizar sus pesos y sesgos.
- Épocas (epochs=100): una época se completa cuando el modelo ha procesado el conjunto de entrenamiento completo una vez.

Hemos utilizado dos técnicas que eviten tanto el sobreajuste como la ineficiencia en la convergencia, Early Stopping y ReduceLROnPlateau.

Early Stopping consiste en interrumpir el entrenamiento cuando el rendimiento en un conjunto de validación deja de mejorar después de un número determinado de iteraciones, previniendo así el sobreajuste al detener el aprendizaje en el punto óptimo [29].

ReduceLROnPlateau ajusta dinámicamente la tasa de aprendizaje cuando la métrica monitorizada deja de mejorar, reduciéndose para permitir una convergencia más fina hacia un mínimo local o global [30]. En conjunto, estas técnicas actúan como mecanismos de regularización y de control adaptativo del aprendizaje, mejorando la adaptabilidad del modelo y evitando entrenamientos ineficientes.

Durante la etapa de desarrollo ambos métodos fueron particularmente útiles para la optimización de recursos. Hiperparámetros de Regularización y Callbacks:

- Tasa de abandono (dropout = 0.2).
- Paciencia (patience = 10): el número de épocas que el EarlyStopping espera antes de detener el entrenamiento cuando no se observa una mejora en la pérdida de validación.
- Restaurar mejores pesos (restore_best_weights) del EarlyStopping: asegura que los pesos del modelo se restablezcan al punto donde la pérdida de validación fue la más baja, garantizando que se conserve el mejor modelo posible.
- Factor (factor = 0.5): el factor en el que ReduceLROnPlateau reduce la tasa de aprendizaje si el rendimiento en la validación se estanca.

El entrenamiento de la red neuronal es un proceso iterativo en el que se ajustan sus parámetros a lo largo de un número de épocas. Una época es una vuelta completa a través de todo el conjunto de datos de entrenamiento. A medida que el modelo se entrena en más épocas, se espera que el error de predicción, medido por una función de pérdida, disminuya.

Utilizamos la función de pérdida Huber para medir el error de regresión, porque combina las propiedades del error cuadrático medio (MSE) y el error absoluto medio (MAE). Se comporta como MSE para errores pequeños, proporcionando una convergencia estable, y como MAE para errores grandes [24].

Mediante la monitorización de la pérdida y las funciones de devolución de llamada (callbacks) se determina cuando el modelo está entrenado de la forma más óptima.

El dataset se dividió en dos grupos, uno de entrenamiento y otro de validación, con el 80 % y 20 % del total para cada uno respectivamente; quedando con 261 y 66 días.

Como buena práctica previa al entrenamiento, se normalizaron las variables de entrada para asegurar una cierta estabilidad numérica y mejorar la convergencia del optimizador, evitando problemas generados por las distintas unidades.

El Gráfico de Pérdida (loss) (Figura 16) muestra el progreso del entrenamiento a lo largo de las épocas. Típicamente, muestra dos curvas, una representa la evolución del error del modelo en los datos de entrenamiento mientras que la otra mide cómo evoluciona el error en los datos de validación. Se observa que tanto la pérdida de entrenamiento como de validación disminuyen con las épocas, lo cual indica que el modelo está aprendiendo. La curva de validación es un poco más alta y presenta fluctuaciones, esto es esperable debido a la variabilidad de los datos de validación. Se ve que la misma, a partir de la época 15 ya no mejora demasiado, mostrando una tendencia al sobreajuste (overfitting), lo que significa que el modelo ha memorizado el ruido de los datos de entrenamiento y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ha perdido su capacidad para generalizar a nuevos datos. Puede verse el actuar de la técnica EarlyStopping, cuando después de evaluar diez épocas (el valor del parámetro de paciencia) en los que el modelo no mejora la pérdida de validación, el entrenamiento se finaliza en la época 25 evitando desperdiciar recursos. Los pesos finales se restauran al mejor registrado, en nuestro caso en la época 15.

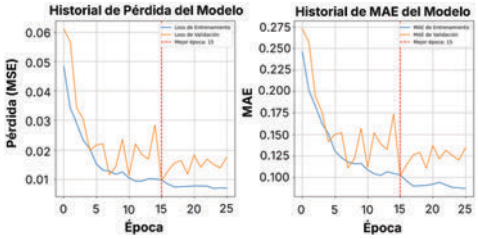



Figura 16: Gráficos de Pérdida de sets de Entrenamiento vs. Validación.

## 6. Análisis de los Resultados

Para evaluar el desempeño del modelo se utilizaron dos conjuntos de datos: un set de validación empleado durante la etapa de entrenamiento y un set adicional con la misma estructura que comprende los registros desde julio de 2025 hasta agosto de 2025 que simuló un entorno de producción.

El desempeño del modelo fue evaluado mediante cuatro métricas típicamente utilizadas en problemas de medición de series de tiempo: MAE (Error Absoluto Medio), RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio), MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio) y $R^2$ (Coeficiente de Determinación).

El MAE mide el error promedio en las mismas unidades de la variable objetivo (en este caso en kWh) y se define como:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i|$$

donde $y_i$ es el valor real, $\hat{y}_i$ es el valor predicho y $n$ es el tamaño de la muestra.

El RMSE es similar al MAE, pero penaliza más los errores grandes porque eleva al cuadrado las diferencias. Si RMSE es bastante mayor que MAE, significa que existen outliers o errores grandes. Se calcula como:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

El MAPE expresa el error en porcentaje respecto al valor real, lo que facilita interpretar la magnitud relativa del error:

$$\text{MAPE} = \frac{100\,\%}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right|$$

El $R^2$ mide qué proporción de la variabilidad de los datos reales es explicada por el modelo, y está dado por:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$

En el gráfico de la Figura 17 se compara el consumo real de energía con el consumo pronosticado por el modelo en un entorno de producción. El pronóstico se ajusta adecuadamente al consumo real, logrando capturar los componentes de tendencia y estacionalidad de la serie original. Si bien se mantiene la forma general de las oscilaciones, se observan pequeñas diferencias en los picos de consumo, debidas a que el modelo tiende a suavizar los valores extremos, lo cual es esperable en problemas de series de tiempo.

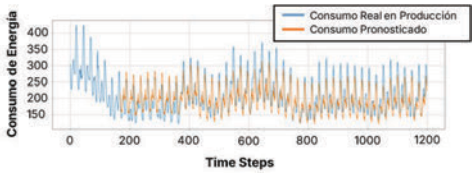



Figura 17: Pronóstico de Consumo de Energía en Entorno de Producción.

```
METRICAS DE EVALUACION DEL MODELO EN PRODUCCION
==================================================
MAE: 23.00
RMSE: 28.20
MAPE: 11.56%
R2: 0.6852
```

El valor del MAE fue 23.00, lo cual significa que, en promedio, el modelo incurre en un error de ±23 unidades de kWh. El RMSE fue de 28.20, que indica que los errores típicos rondan los 28 kWh. En promedio, el modelo se equivoca en un 11.56 %. En este caso se alcanzó un valor de $R^2$ igual a 0.6852, lo cual indica que el modelo explica alrededor del 68 % de la variabilidad presente en los consumos, un resultado aceptable en un contexto caracterizado por alta variabilidad y factores exógenos no lineales de difícil control.

Los gráficos de las Figura 18 y Figura 19 muestran el pronóstico del consumo de energía en 24 horas en comparación con los valores reales para dos casos distintos del conjunto de validación (Muestra 18 y Muestra 56). En la primera gráfica, el modelo logra reflejar la tendencia general del consumo durante el día. El pronóstico sigue de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



manera bastante ajustada las variaciones horarias, considerando los períodos de menor consumo (entre horas 4–8) y el pico de máxima demanda (alrededor de las 20 horas). En la segunda gráfica, la brecha entre el consumo real y pronosticado es más notoria. La mayor diferencia se observa en el pico de las 0 hs, donde el modelo predice un valor de aproximadamente 185 kWh, mientras que el valor real supera los 275 kWh, reflejando dificultades para capturar consumos extremos. Los valores de MAE, RMSE y $R^2$ muestran que el modelo de pronóstico, para la muestra 56, presenta limitaciones para representar adecuadamente los consumos reales.

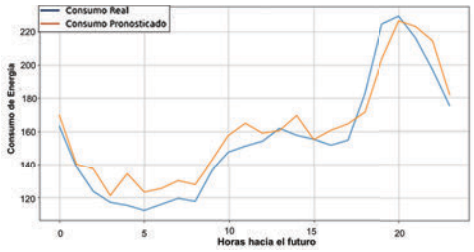



Figura 18: Pronóstico de Consumo de Energía a 24 horas (Validación - Muestra 18)

```
Ventana 18: MAE=9.15, RMSE=10.58, R2=0.9035
```

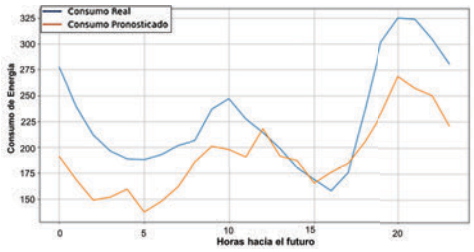



Figura 19: Pronóstico de Consumo de Energía a 24 horas (Validación – Muestra 56)

```
Ventana 56: MAE=39.97, RMSE=46.34, R2=0.1012
```

Estos dos ejemplos pertenecen al set de validación, y representan el día con mayor ajuste y el día con menor. En promedio, los resultados de pronósticos para los 66 días del set de validación son de MAE: 20.84, RMSE: 27.43, MAPE: 10.32 % y $R^2$: 0.7469.

El mismo proceso se ha realizado al simular un entorno de producción con el pronóstico de 50 días comprendidos entre Julio y Agosto del 2025. Nos quedaremos con estos resultados pues representarían la calidad de los pronósticos obtenidos día a día luego de entrenar el modelo y ponerlo en producción. Reconocemos que estos resultados pueden estar sesgados por tratarse solo de un momento del año y no de toda una temporada. Quedará pendientes para futuras investigaciones evaluar la reacción frente a un dataset con mayor cantidad de registros históricos. En promedio para todos los pronósticos obtenemos MAE: 23.00, RMSE: 28.20, MAPE: 11.56 %, $R^2$: 0.6852, teniendo un 16 % de los días con $R^2$ menor a 0.5.

En general, el modelo obtenido logra capturar dos tercios de la variabilidad observada en los datos reales, lo cual lo convierte en una herramienta predictiva adecuada para aplicaciones prácticas en la planificación y toma de decisiones vinculadas a la demanda energética de una Comuna.

## 7. Conclusión

El modelo propuesto, basado en una arquitectura con capas convolucionales y LSTM, mostró un desempeño aceptable en el pronóstico de la demanda eléctrica de Ibarlucea, alcanzando explicar casi un 69 % de la variabilidad de los datos en un entorno de producción y un 74 % sobre el set de validación.

El modelo detallado, frente a otras arquitecturas evaluadas, brindó las predicciones más exactas. Otras opciones relevantes se basaron en agregar capas LSTM, sin capas convolucionales y en la estructura encoder-decoder LSTM [26] sin capas convolucionales, obteniendo resultados inferiores al actual, siendo la segunda la cual estuvo más cercana.

El análisis comparativo entre el conjunto de validación y el de prueba evidenció un comportamiento heterogéneo: existen días en los que las predicciones son satisfactorias y otros donde el error es considerable. Esta variabilidad sugiere que, además de las limitaciones propias del modelo, los datos disponibles resultan escasos para el entrenamiento de arquitecturas más complejas y podrían estar afectados por factores exógenos no considerados.

Se observó que el pronóstico tiene una tendencia a suavizar los picos de consumo, presentando un error considerable al intentar capturar estas fluctuaciones más bruscas. Es probable que se deba a la función de pérdida seleccionada, Huber, pues penaliza menos los errores grandes que una función de pérdida MSE. Al suavizar la penalización para los picos de demanda repentinos, el modelo prioriza el ajuste a los patrones generales y las tendencias subyacentes de los datos. Si bien compromete la precisión en los puntos extremos, con la función de pérdida Huber se obtuvieron mejores resultados que con MSE. La diferencia de métricas entre el set de validación y el de producción puede deberse a esta cuestión y a la naturaleza de los datos en cada periodo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se pretende que a partir de este estudio, el trabajo pueda escalar para abordar futuros desafíos cómo evaluar esta misma metodología en otros contextos (en diferentes Cooperativas) permitiendo comprobar su capacidad de generalización.

Contar con un modelo de pronóstico como el desarrollado representa una herramienta que permitiría anticipar picos de consumo, optimizar la planificación operativa, reducir riesgos de sobrecargas y garantizar un servicio más eficiente a la comunidad. En este caso de estudio particular una correcta aproximación es suficiente para potenciales usos, sin embargo, para otras aplicaciones, sería preferible mejorar la exactitud la capacidad predictiva.

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas del área que reportan resultados similares. Sin embargo, existen diversos aspectos a considerar.

En primer lugar, el dataset utilizado solo comprende un año de registros, lo que limita la capacidad del modelo para capturar patrones estacionales de largo plazo y variaciones interanuales. Además, no es posible evaluar su desempeño en distintas estaciones climáticas. Un dataset de 5 años, en los que el 20 % representa un año entero hubiese permitido realizar estas conclusiones, confirmando o desmintiendo que la capacidad explicativa es constante a lo largo de todo un año. Esta escasez de datos también condicionó la arquitectura del modelo, imposibilitando el entrenamiento de modelos más complejos sin riesgo de sobreajuste.

Esta metodología no fue validada en otros contextos por lo que puede introducir sesgos propios de la estacionalidad de la serie. En cuanto a la arquitectura, cabe señalar que no se utilizaron capas del tipo Pooling, por lo que no se exploró la posibilidad de reducción espacial de características, la cual podría mejorar la generalización. Tampoco se ensayaron configuraciones alternativas, quedaron pendientes de exploración algunas hipótesis, entre ellas, la de procesar únicamente la variable Energía Activa mediante filtros convolucionales y capas LSTM, incluyendo el resto de las variables directamente en las capas densas, y así, capturar sólo los patrones del consumo de energía (LSTM) y cómo estimarlo mediante las variables exógenas (Densas).

También, es necesario destacar que si se utilizan los pronósticos de temperatura (calculados por el SMN) para predecir el consumo eléctrico, se incluiría un sesgo externo al modelo realizado el cual no se contempló en esta etapa del proyecto. Pues el pronóstico se considera un valor conocido del futuro, pero en la realidad no tiene una exactitud del 100 % como la considerada.

Aunque los resultados son alentadores en el contexto específico de Ibarlucea, la generalización de la metodología hacia otros ámbitos requiere pruebas adicionales. Plantear nuevas hipótesis y profundizar en los tipos de arquitectura permitirá en próximas investigaciones generar modelos con mayor adaptabilidad a otros contextos y que produzcan pronósticos con mayor exactitud.

## Agradecimientos

Al Ing. Pablo Rullo, por su acompañamiento, guía y apoyo durante todo el desarrollo de esta investigación.

Al Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES) de nuestra regional, por permitirnos participar de sus actividades, brindándonos conocimientos generales de la Ingeniería Eléctrica.

Al Lic. Lombardo Victor, Oviedo Ignacio y a Pedemonte Nicolás por su colaboración en etapas tempranas de este proyecto.

A todos los docentes de la Facultad Regional de Rosario, que respondieron consultas relacionadas a sus asignaturas, incluidas en esta investigación.

## Referencias

[1] Mall, S. (2024). Deep Learning at Scale. “O’Reilly Media, Inc.”. “Deep Learning.” Deep Learning Book.

[2] Graves, A. (2012). Long short-term memory. Supervised sequence labelling with recurrent neural networks, 37-45.

[3] Livieris, I. E., Pintelas, E., & Pintelas, P. (2020). A CNN–LSTM model for gold price time-series forecasting. Neural computing and applications, 32(23), 17351-17360.

[4] Laurencio, R. M., Breff, O. T., & Ramirez, S. M. (2024). Predicción de Consumo y Demanda de Electricidad Mediante Redes Neuronales Artificiales y Algoritmo Iterativo. Revista Politécnica, 54(3), 45-58.

[5] Uhrig, M., Vignolo, L., & Müller, O. (2025). Modelado y predicción de la demanda eléctrica: comparación de enfoques estadísticos y de aprendizaje automático. SADIO Electronic Journal of Informatics and Operations Research, 24(1), e067.

[6] Bengio, Y., Simard, P., & Frasconi, P. (1994). Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. IEEE transactions on neural networks, 5(2), 157-166.

[7] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural computation, 9(8), 1735-1780.

[8] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (2002). Gradient-based learning applied to document

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



recognition. Proceedings of the IEEE, 86(11), 2278-2324.

[9] Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. The journal of machine learning research, 15(1), 1929-1958.

[10] Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning (Vol. 1, No. 2). Cambridge: MIT press.

[11] Pronóstico de series de tiempo. (s/f). TensorFlow. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de https://www.tensorflow.org/tutorials/structured_data/time_series?hl=es-419

[12] WebDriver. (s/f). Selenium. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de https://www.selenium.dev/documentation/webdriver/

[13] Pandas documentation — pandas 2.3.2 documentation. (s/f). Pydata.org. Recuperado el 12 de septiembre de 2025, de https://pandas.pydata.org/docs/

[14] Using matplotlib — matplotlib 3.10.6 documentation. (s/f). Matplotlib.org. Recuperado el 12 de septiembre de 2025, de https://matplotlib.org/stable/users/index.html

[15] User guide and tutorial — seaborn 0.13.2 documentation. (s/f). Pydata.org. Recuperado el 12 de septiembre de 2025, de https://seaborn.pydata.org/tutorial.html

[16] Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. Journal of the American Statistical Association, 46(253), 68–78.

[17] Mastronardi, L. J., Sfeir, M. A., & Sánchez, S. (2016, agosto). La temperatura y su influencia en la demanda de energía eléctrica: Un análisis regional para Argentina usando modelos econométricos (Documento de Trabajo). Ministerio de Energía y Minería, República Argentina. Recuperado el 11 de septiembre de 2025 de https://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/mercado_electrico/informeselectrica/as14946098911.pdf

[18] Canale, R., & Chapra, S. (1999). Metodos numericos para ingenieros (3a ed.). McGraw-Hill Companies.

[19] Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural Networks: The Official Journal of the International Neural Network Society, 2(5), 359–366.

[20] Hanke, J. (2010). Pronosticos En Los Negocios (9a ed.). Pearson Educacion.

[21] Wilke, C. O. (2019). Fundamentals of data visualization: A primer on making informative and compelling figures. O'Reilly Media.

[22] Fisher, R. A. (1919). XV.—The Correlation between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 52(2), 399–433.

[23] Jatender Kumar. (2024). Hyperparameters in Deep Learning: A Comprehensive Review. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 12(4), 4015 –.

[24] Huber, P. J. (1964). Robust Estimation of a Location Parameter. The Annals of Mathematical Statistics, 35(1), 73–101.

[25] Box, G. E., & Jenkins, G. M. (1968). Some recent advances in forecasting and control. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 17(2), 91-109.

[26] Kao, I.-F., Zhou, Y., Chang, L.-C., & Chang, F.-J. (2020). Exploring a Long Short-Term Memory based Encoder-Decoder framework for multi-step-ahead flood forecasting. Journal of Hydrology, 583(124631), 124631.

[27] Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. IEEE Transactions on Neural Networks, 5(2):157–166.

[28] Del Puerto, E. (2020). Conceptos iniciales de la energía del viento. Buenos Aires, Argentina.

[29] Prechelt, L. (1998). Early Stopping - But When?. In: Orr, G.B., Müller, KR. (eds) Neural Networks: Tricks of the Trade. Lecture Notes in Computer Science, vol 1524. Springer, Berlin, Heidelberg.

[30] Loshchilov, I., & Hutter, F. (2016). SGDR: Stochastic gradient descent with warm restarts. En arXiv [cs.LG].

[31] Tukey, J. W. (1953). The Problem of Multiple Comparisons.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Supervisión inteligente y optimización operativa de una expendedora de café mediante Gemelo Digital y Tecnologías de la Industria 4.0

*Carlos Alberto Binker[12], Hugo Tantignone[12], Guillermo Buranits [12]*
*Maximiliano Frattini [12], Eliseo Zurdo[12], Lautaro Lasorsa[12]*

[1]Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas
[2]Universidad Nacional de La Matanza, Florencio Varela 1903 (B1754JEC) -- San Justo, Provincia de Buenos Aires, Argentina
{cbinker, htantignone, gburanits, mfrattini, eazurdo, laulasorsa }@unlam.edu.ar

## Resumen

*El trabajo presenta el desarrollo de un Gemelo Digital para una máquina expendedora de café, integrado con sensores virtuales que generan datos en tiempo real sobre consumo energético, niveles de insumos y variables de operación.*

*La información se almacena en repositorios en la nube y es procesada por el gemelo digital para simular el comportamiento dinámico de la máquina, detectar anomalías y evaluar escenarios de optimización.*

*Se incorporan indicadores de desempeño (KPIs y OEE) que permiten medir disponibilidad, rendimiento y calidad del servicio, posibilitando un seguimiento detallado y la mejora continua.*

*Como componente adicional, se integra un agente inteligente basado en frameworks de agentes, capaz de interactuar en lenguaje natural, generar reportes automatizados y asistir en la toma de decisiones.*

*La propuesta favorece la eficiencia energética, la autonomía operativa y la sostenibilidad, alineándose con los principios de la Industria 4.0.*

**Palabra clave:** *Expendedora de café, Eficiencia energética, Gemelo Digital, Industria 4.0, Agentes de IA*

## 1 Introducción

La denominada Industria 4.0 representa la cuarta revolución industrial y se caracteriza por la convergencia entre sistemas físicos y digitales a través de tecnologías como el Internet de las cosas (Internet of Things - IoT), la inteligencia artificial (IA), el cloud computing, la robótica avanzada y el análisis de datos en tiempo real [1] . En este contexto, los dispositivos y procesos industriales se interconectan generando un ecosistema inteligente capaz de recopilar, procesar e intercambiar información de manera autónoma, habilitando nuevas formas de optimización y automatización. Entre las tecnologías más relevantes destacan las de los gemelos digitales (Digital Twins) [2] [3], que constituyen réplicas virtuales de sistemas o procesos físicos que permiten simular, predecir y optimizar su comportamiento a partir de datos obtenidos mediante sensores y redes IoT (Internet of Things) [4] . Su integración con agentes inteligentes basados en IA abre la posibilidad de desarrollar entornos más resilientes, sostenibles y eficientes. Por otro lado, la evaluación del desempeño se ha convertido en un aspecto central de la Industria 4.0, haciendo que las métricas como los indicadores clave de rendimiento (KPI) [5] [6] y la eficacia general del equipo (OEE) [7] sean más pertinentes que nunca. El OEE, un indicador ampliamente reconocido en el sector de la manufactura ofrece una visión holística de la productividad al descomponerla en tres factores críticos: la disponibilidad de los activos, su rendimiento operativo y la calidad del producto final. Este análisis multifacético no sólo ayuda a identificar las causas de la ineficiencia, sino que también sirve como base para implementar mejoras concretas y cuantificables. Paralelamente, los KPI permiten a las organizaciones establecer objetivos precisos y llevar un seguimiento riguroso de su progreso. Mediante el uso de estos indicadores, las empresas pueden tomar decisiones estratégicas informadas, lo que garantiza una mejora sostenida y un mayor éxito en el mercado. Por lo tanto, el OEE y los KPI son herramientas indispensables para la optimización de procesos en el entorno digital de la Industria 4.0.

Es así que en este marco, el presente trabajo propone como caso de estudio el diseño de un Gemelo Digital para una máquina expendedora de café, complementado con un agente autónomo construido sobre frameworks especializados (LangGraph, CrewAI, LangChai) [8] [9] [10].

### 1.1 Objetivo

El objetivo principal es monitorear, interpretar y optimizar el desempeño de una máquina expendedora de café, poniendo especial énfasis en la detección de consumos energéticos innecesarios y en la automatización de recomendaciones de eficiencia a través de un agente de IA basado en python [11] . Toda la solución se simuló empleando herramientas de código abierto junto a sensores virtuales [12] , lo que demuestra que la digitalización y el uso de gemelos digitales pueden aplicarse de manera práctica y replicable incluso en escenarios con recursos tecnológicos limitados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 2 Estado del arte

La Industria 4.0 supone un cambio profundo en la forma en que se conciben y gestionan los procesos productivos. Se caracteriza por la integración estrecha de sistemas físicos con tecnologías digitales avanzadas, habilitando entornos productivos más flexibles, eficientes y personalizados. La toma de decisiones se apoya en información en tiempo real y en herramientas analíticas inteligentes.

La Figura 1 ilustra las principales tecnologías de la Industria 4.0 que serán analizadas a continuación con más detalle.

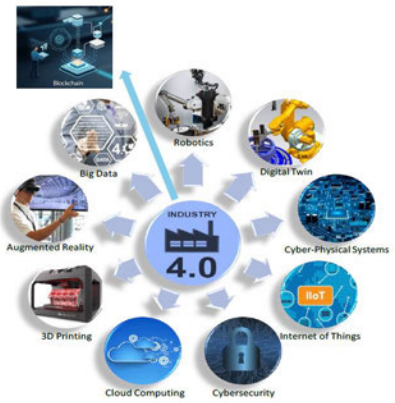



**Figura 1.** Principales tecnologías de la Industria 4.0

### 2.1 Tecnologías clave en la industria 4.0

#### 2.1.1 Inteligencia Artificial (IA)

La Inteligencia Artificial (IA) es una rama de conocimiento multidisciplinar que busca que los equipos y dispositivos informáticos realicen tareas que normalmente requerirían inteligencia humana. El artículo la define como la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas inteligentes. La IA involucra sistemas con la capacidad de emular el comportamiento humano inteligente. Dentro de las técnicas principales de la IA se encuentran las Redes Neuronales Artificiales [13], el Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP) [14] [15], la Ingeniería del Conocimiento, los Sistemas Expertos, los Algoritmos Evolutivos, la Lógica Difusa y el Aprendizaje Profundo (Deep Learning) [16] . En síntesis, constituye el núcleo analítico de la Industria 4.0. Incluye técnicas de Machine Learning para la predicción de patrones, Deep Learning para el procesamiento de datos no estructurados y Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) para la interacción hombre-máquina.

#### 2.1.2 Big Data

El Big Data [17] hace referencia a las soluciones de hardware y software que permiten capturar, almacenar y organizar el acceso a conjuntos de datos tan grandes que los medios de procesamiento de datos tradicionales son insuficientes. Se refiere al manejo de grandes volúmenes de datos con las "*5 V*", *Volumen* (gran cantidad de información), *Variabilidad* (significado de los datos que cambia continuamente), *Veracidad* (los datos deben ser válidos y correctos), *Velocidad* (los datos se generan y almacenan a una velocidad sin precedentes) y *Variedad* (datos que provienen de múltiples fuentes, dispositivos y plataformas, pudiendo ser estructurados o no estructurados), todo esto aplicable a la optimización de decisiones y procesos estratégicos. El desafío actual no es sólo recopilar los datos, sino tener también la capacidad tecnológica para almacenarlos, comprenderlos y convertirlos en conocimiento.

#### 2.1.3 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) es la próxima evolución de internet, donde la conectividad y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que normalmente no se consideran computadoras. Esto permite la interacción entre el mundo físico y los sistemas cibernéticos, posibilitando que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con mínima intervención humana. No existe una definición única y universal para el IoT. La arquitectura de una solución IoT se compone de cinco capas: percepción, red, procesamiento, aplicación y negocios.

#### 2.1.4 Sistemas Ciberfísicos (CPS)

Los Sistemas Ciberfísicos (CPS) [18] , vistos como una disciplina de la ingeniería, se centran en tecnologías que utilizan abstracciones matemáticas e informáticas para modelar, simular y diseñar sistemas integrados concurrentes en tiempo real. Combinan modelos y métodos de diferentes campos de la ingeniería con los de la informática, lo que los convierte en una nueva disciplina de ingeniería. Los CPS buscan identificar los principios fundamentales que sustentan la integración de elementos físicos y cibernéticos en todos los campos. En líneas generales constituye la combinación de sensores, actuadores, comunicación y algoritmos inteligentes que sincronizan el mundo físico con el digital, habilitando así el paradigma de los gemelos digitales (digital twin).

#### 2.1.5 Ciberseguridad

En el contexto de la Industria 4.0, es un factor crucial que debe considerarse en todo el ciclo de vida de cualquier iniciativa, ya que las capacidades digita-les traen nuevos riesgos cibernéticos para los cuales la industria aún no está preparada. El documento presenta un caso de ataque informático, el gusano Stuxnet, que en 2012 logró infectar y causar daños físicos a las centrifugadoras de una planta de enriquecimiento de uranio en Irán [19] .

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 2.1.6 Cloud computing

La computación en la nube (Cloud Computing) [20] es un modelo que permite un acceso ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (como redes, servidores, almacenamiento y aplicaciones) que pueden ser aprovisionados y liberados rápidamente. El estándar ISO/IEC 17788:2014 [21] define la terminología para los modelos de implementación en la nube, como "*nube pública*" y "*privada*". Los servicios de Cloud Computing se pueden ver como un modelo de tres capas: ***IaaS*** (Infraestructura como Servicio), ***PaaS*** (Plataforma como Servicio) y ***SaaS*** (Software como Servicio) [22].

### 2.1.7 Edge Computing

A diferencia de las arquitecturas de nube centralizadas, la Computación de Borde (Edge Computing) [23] ofrece un enfoque descentralizado donde el procesamiento y el almacenamiento de datos se realizan más cerca de los dispositivos IoT, es decir en "*el borde de la red*". Está diseñada para aplicaciones de IoT en tiempo real y se distingue por minimizar la latencia, mejorar la fiabilidad de la red y proporcionar mayor seguridad, ya que los datos no se exponen al ser procesados localmente. Por ende, tanto el Cloud Computing como el Edge Computing son arquitecturas complementarias para el desarrollo de aplicaciones de IIoT (Industrial Internet of Things) [24].

### 2.1.8 Blockchain

Constituye una tecnología de registro distribuido que garantiza la integridad y trazabilidad de las transacciones digitales. Su estructura descentralizada y segura la hace ideal para aplicaciones industriales como la trazabilidad de productos, contratos inteligentes (smart contracts) y gestión de la cadena de suministro. Por ende esta tecnología distribuida, transparente, cronológica y descentralizada, implica que ninguna persona o institución tiene control sobre la información que contiene, y la edición sólo es posible con el consenso de la red.

La integración sinérgica de estas tecnologías descriptas permite el desarrollo de fábricas inteligentes y cadenas de suministro más ágiles, respaldando la personalización masiva y el uso de *gemelos digitales* en escenarios reales [25].

## 2.2 Aplicaciones de gemelos digitales en entornos industriales y educativos

Los gemelos digitales han demostrado utilidad tanto en la industria como en la educación.

### 2.2.1 Entornos educativos

Proyectos recientes muestran cómo los gemelos digitales permiten modernizar el aprendizaje en ingeniería. Como ejemplos podemos citar su integración con realidad virtual para enseñar automatización [26] y la modelización de infraestructuras críticas como grúas pórtico o depósitos de agua [27].

### 2.2.2 Entornos industriales

se aplican en sectores como el de bebidas [28], donde un gemelo digital permitió optimizar procesos, reducir costos y mejorar la eficiencia operativa. Estos casos evidencian que los gemelos digitales son una herramienta transversal que facilita tanto la formación académica como la transformación digital de la industria.

## 2.3 Gemelos Digitales en la Industria 4.0

Los gemelos digitales se definen como representaciones virtuales dinámicas de objetos o procesos físicos que replican su comportamiento en tiempo real gracias a datos de sensores, IA e IoT.

Sus aplicaciones incluyen:

- Mantenimiento predictivo y reducción de tiempos de inactividad.
- Simulación de escenarios alternativos para optimización de recursos.
- Visualización integral del ciclo de vida de un activo, desde diseño hasta desmantelamiento.

Si bien su adopción enfrenta desafíos como la interoperabilidad y la gestión de grandes volúmenes de datos, los beneficios son claros: reducción de costos, mayor resiliencia y avances hacia fábricas inteligentes.

## 2.4 Métricas de desempeño en la Industria 4.0: KPI y OEE

### 2.4.1 KPI (Key Performance Indicators)

Los KPI constituyen indicadores estratégicos que permiten evaluar variables críticas como:

- Costos de operación.
- Tiempos de ciclo.
- Consumo energético.
- Nivel de fallos o mantenimientos correctivos.
- Cumplimiento de entregas.

Su implementación en tiempo real ofrece a los responsables una visión integral de la operación, facilitando la identificación de desviaciones que afectan la competitividad.

### 2.4.2 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

El OEE es una métrica consolidada para medir la productividad global de un equipo. Se compone de tres variables, a saber:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- ***Disponibilidad***: mide cuánto tiempo el equipo está operativo en comparación con el planificado.
- **Rendimiento**: evalúa la velocidad real de producción frente a la ideal.
- ***Calidad***: refleja la proporción de productos conformes respecto al total producido.

El OEE no sólo cuantifica la eficiencia, sino que permite detectar cuellos de botella, optimizar mantenimientos y reducir tiempos improductivos. Matemáticamente se expresa como una productoria de las 3 variables anteriormente mencionadas.

$$OEE = Disponibilidad[\%].Rendimiento[\%].Calidad[\%]$$

### 2.5 Caso de estudio: Adaptación de las métricas mencionadas a la Máquina Expendedora de Café

Si bien estas métricas suelen aplicarse en líneas de manufactura, su lógica es transferible a equipos automatizados como lo será una expendedora de café en este estudio. A continuación se describen las métricas utilizadas para nuestro estudio:

- ***Disponibilidad***: tiempo en que la máquina permanece lista para servir café frente a períodos de inactividad o mantenimiento.
- ***Rendimiento***: comparación entre cafés esperados y cafés efectivamente servidos en un intervalo de tiempo.
- ***Calidad***: porcentaje [%] de cafés que cumplen parámetros de temperatura, sabor y volumen. A estos componentes se suman KPI específicos:
    1. Consumo energético por taza servida.
    2. Frecuencia de fallas en módulos (molienda, dosificación, dispensación).
    3. Tiempo promedio de reposición de insumos.
    4. Tasa de incidencias técnicas por semana.

Estas métricas se representan en las Tablas 1 y 2 respectivamente, y permiten monitorear tanto el desempeño, como así también modelar escenarios alternativos y anticipar posibles problemas, vinculando datos reales con decisiones de optimización.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Categoría | KPI sugerido | Definición | Unidad y Medición |
|---|---|---|---|
| **Energía** | Consumo energético por taza servida | Cantidad de energía requerida para preparar y dispensar una taza de café | **[KWh / taza]** (medido con sensor de consumo eléctrico integrado) |
| **Mantenimiento** | Tiempo medio entre fallas **[MTBF]** | Tiempo promedio que la máquina opera sin presentar fallas | Promedio de horas entre interrupciones (registro automático de fallos) |
| **Tiempo de uso** | Tiempo promedio de espera entre selección y entrega | Duración media desde que el usuario selecciona la bebida hasta que se dispensa | **[Segundos]** (cronómetro automático en sistema de control) |
| **Tasa de fallas** | Frecuencia de fallos por semana | **N°** de incidencias técnicas registradas en un período de **siete días** | Conteo automático de errores registrados |
| **Consumo** | Promedio de cafés servidos por franja horaria | Cantidad media de cafés dispensados en cada segmento de tiempo definido. | Servicios / hora (segmentado por turno o franja de tiempo) |

**Tabla 1.** Indicadores clave de desempeño en Expendedora de Café

| Componente | Métrica | ¿Qué mide? | Fórmula (base) | Fuente de datos | Objetivo / Umbral |
|---|---|---|---|---|---|
| **Disponibilidad** | Tiempo operativo | Proporción de tiempo realmente productivo frente al planificado | $\frac{Tiempo\ operativo}{Tiempo\ planificado}$ | Log de estados (encendida, lista, en falla, limpieza) | $\geq$ **95%** |
| | Pérdidas por paradas | Minutos perdidos por fallas, limpieza, falta de insumos | Paradas totales [minutos] | Eventos: "sin agua", "sin café", "atasco", "ciclo de limpieza" | **Tendencial a la baja ↓** |
| | $\frac{MTBF}{MTTR}$ | Confiabilidad y mantenibilidad | $\boldsymbol{MTBF}$ $\frac{Tiempo\ operativo}{N°\ fallas}$ $\boldsymbol{MTTR}$ $\frac{Tiempo\ reparación}{N°\ fallas}$ | Log de fallas y mantenimiento | $\boldsymbol{MTBF}\uparrow$ $\boldsymbol{MTTR}\downarrow$ |
| **Rendimiento** | Tasa de producción | Qué tan rápido produce vs. su ritmo ideal | $\boldsymbol{Rendimiento}$ $\frac{Tazas\ reales.TC\ ideal}{Tiempo\ operativo}$ | Contador de tazas, Timestamp por ciclo | $\geq$ **90 – 95%** |
| | Tiempo de ciclo ideal | Segundos ideales por taza (receta standard) | Definido por Ingeniería / Proveedor | Especificación más receta | Estable (por ejemplo 25 a 35 s) |
| | Micro paradas | Ciclos lentos o breves descripciones | N° de micro paradas y duración | Sensor de flujo, sensor de presión, eventos "espera" | **Tendencial a la baja ↓** |
| **Calidad** | Tazas buenas | Porcentaje de tazas conformes (temperatura, volumen, extracción) | $Calidad = \frac{Tazas\ buenas}{Tazas\ totales}$ | Sensores ( temperatura, flujo), feedback, descarte | $\geq$ **98 – 99%** |
| | Descarte / reproceso | Tazas no conformes (frías, subdosificadas, derrames) | $\boldsymbol{Scrap}$ $\frac{Tazas\ no\ conformes}{Tazas\ totales}$ | Registros de error, botón "Anular" | $\leq$ **1 – 2%** |
| **OEE** | OEE Total | Productividad global del equipo | $\boldsymbol{OEEE}$ $Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$ | Cálculo integrado | $\geq$ **80 – 85%** (meta inicial) |

**Tabla 2.** Tabla OEE en máquina expendedora de Café

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# 3 Solución Propuesta. Arquitectura del Sistema Inteligente para Expendedora de Café

## 3.1 Resumen del enfoque

La solución propuesta para este caso de estudio se centra en el desarrollo de un Gemelo Digital para una máquina expendedora de café (ilustrada a modo de ejemplo en la Figura 2), integrado con sensores virtuales, KPIs en tiempo real, métricas OEE y un agente inteligente autónomo. El objetivo es monitorear, anticipar fallos, optimizar consumo energético y mejorar la experiencia del usuario.



**Figura 2.** Máquina expendedora de café

## 3.2 Arquitectura del sistema

### 3.2.1 Simulación de Sensores

Se implementaron sensores virtuales programados en Python que reproducen en tiempo real parámetros críticos, tales como:

- Consumo eléctrico del sistema de calentamiento y del equipo completo.
- Flujo de bebida, presión y temperatura.
- Presión interna y temperatura del agua.
- Niveles de café molido, agua y azúcar en los depósitos.
- Datos generados en forma pseudoaleatoria (o sea random), datetime y pandas para reproducir tanto condiciones reales y fallas.

### 3.2.2 Almacenamiento en la Nube

La información recogida se conserva en una base de datos en la nube, con características de escalabilidad, disponibilidad y seguridad. Se adoptó un modelo híbrido (SQL + NoSQL), lo que permite almacenar tanto métricas estructuradas como registros de eventos o trazas de usuario.

- Métricas estructuradas más registros de eventos
- Escalabilidad, redundancia y seguridad

### 3.2.3 Gemelo Digital

El sistema cuenta con un Gemelo Digital desarrollado en Python que replica el comportamiento físico de la cafetera. Este módulo permite:

- Replicar dinámicamente el comportamiento de la máquina
- Simulación en tiempo real, detección de anomalías y evaluación de escenarios.

### 3.2.4 Métricas de Desempeño (KPIs y OEE)

El sistema calcula en tiempo real indicadores clave, tales como:

- Disponibilidad, rendimiento, calidad y eficiencia energética.
- Dashboards interactivos para análisis y toma de decisiones rápidas.

Estos datos se presentan en dashboards interactivos, permitiendo que los responsables operativos tomen decisiones rápidas y basadas en evidencia.

### 3.2.5 Agente autónomo (LangGraph / CrewAI)

- ***Roles:*** Operador (monitorea), Analista (optimiza), Supervisor (planifica).
- Interacción con APIs internas.
- ***Objetivos***: disponibilidad ≥ 95 %, eficiencia energética mejorada, fallas anticipadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# 4 Plataforma Tecnológica y Desarrollo

La propuesta se construyó con herramientas abiertas y modulares, alineadas con los principios de escalabilidad y accesibilidad. El Backend se implementó en Python con *FastAPI [29]*, lo que provee servicios de simulación, almacenamiento de datos y cálculo de métricas, expuestos mediante una API REST segura. Por otro lado, el Dashboard de Monitoreo y Análisis, es un panel interactivo que permite visualizar en tiempo real las variables críticas, métricas OEE y alertas del sistema. Incluye reportes históricos, comparativas y notificaciones automáticas. Para la implementación del Front End se utilizó la librería de JavaScript React [30]. En cuanto a los sensores simulados, se configuraron scripts independientes en Python que generan flujos de datos periódicos bajo diferentes escenarios de uso. En cuanto a la Base de datos en la nube, se constituyó un repositorio híbrido SQL/NoSQL, con escalabilidad automática, redundancia y acceso remoto seguro.

### 4.1.1 Flujo de Información

El recorrido de los datos sigue el siguiente ciclo:

1. Los sensores virtuales producen registros minuto a minuto.
2. Los datos se guardan en la base de datos remota.
3. El gemelo digital procesa los datos y actualiza la simulación.
4. Se calculan en vivo KPIs y métricas OEE.
5. El agente autónomo analiza y genera planes de acción.
6. El usuario accede a paneles o recibe notificaciones automáticas.

A continuación dicho ciclo puede ser observado con mayor detalle en la Figura 3.




**Figura 3.** Flujo de Información

### 4.1.2 Lineamientos de Diseño

- ***Escalabilidad***: integración sencilla de nuevos sensores o indicadores.
- ***Accesibilidad:*** APIs abiertas que reducen la complejidad técnica.
- ***Reutilización:*** adaptable a otros dispositivos de servicio automático.
- ***Sostenibilidad:*** monitoreo orientado a reducir consumos y desperdicios.

# 5 Pruebas y Validaciones

### 5.1.1 Diseño experimental y resultados

Los escenarios simulados fueron los siguientes:

- ***Alta demanda***: sobrecarga de pedidos.
- ***Fallas técnicas:*** mal función en calentamiento y dispensación.
- ***Escasez de insumos:*** falta de café/agua.

El procedimiento fue el siguiente:

- Simulación con 10.000 iteraciones Monte Carlo [31] por escenario.
- Semillas aleatorias para reproducibilidad
- Comparación entre baseline (sin optimización) y sistema propuesto

Las métricas utilizadas son las siguientes:

- Disponibilidad (%).
- Rendimiento (% cafés entregados respecto al esperado)
- Calidad (% cafés correctos).
- Eficiencia energética (% reducción de kWh/taza)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 5.1.2 Validaciones

Los Dashboards en React posibilitaron:

- Seguimiento en vivo de variables críticas.
- Identificación de patrones de consumo.
- Detección de anomalías mediante el agente supervisor.
- Entre los principales resultados se destacan: Disponibilidad: 97 %.
- Calidad de bebida: 100 % en escenarios de prueba.
- Eficiencia energética: mejora del 12 % respecto a escenarios base.
- Dashboards permiten observación en vivo.
- Agente supervisor identifica anomalías y propone acciones.
- Resultados muestran mejora consistente en métricas clave.
- En la interfaz vemos Header con KPIs principales Disponibilidad, Rendimiento, Calidad y OEE se
- muestran en tarjetas grandes, fáciles de leer. Se actualizan dinámicamente según los datos cargados (baseline u optimizado).

Las gráficas de rendimiento Cafés por hora: muestra la productividad a lo largo del día. Consumo energético por hora: curva que compara consumo con producción.

Ambas gráficas donde se vislumbra el dashboard (Figuras 5 y 6) son interactivas (se puede pasar el mouse para ver los valores exactos). Hay un Panel de eventos/anomalías y una lista de alertas: fallas técnicas, falta de insumos, micro paradas. Se resaltan con colores según severidad. Hay un botón selector de escenario para cambiar entre Baseline (funcionamiento tradicional) y Optimizado (sleep inteligente, ahorro de energía). Los KPIs y gráficos se recalculan en vivo al cambiar de escenario. En el recuadro de importar datos, hay un botón para subir nuestros propios datos de simulación (*baseline.csv* o *optimized.csv*). A continuación se presenta una tabla con los resultados esperados tras la simulación (ver Figura 4).

| Escenario | Disponibilidad | Calidad | Eficiencia Energética | Mejora Global |
|---|---|---|---|---|
| Baseline | 92 % | 95 % | - | - |
| Sistema propuesto | 97 % | 100 % | +12 % | +10 % OEE |

Figura 4 – Resultados esperados

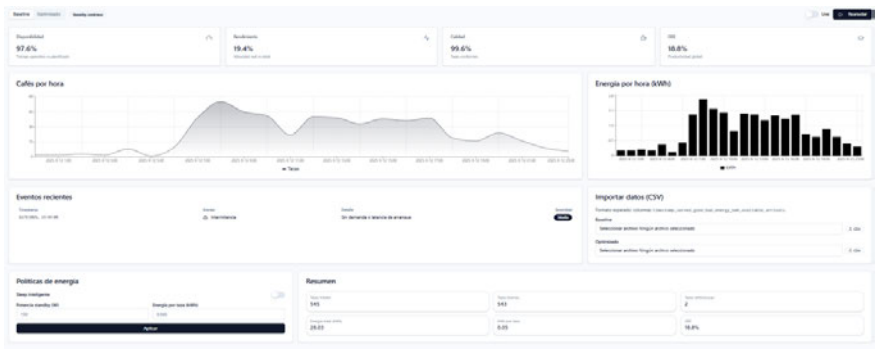



Figura 5. Escenario Baseline (funcionamiento tradicional)

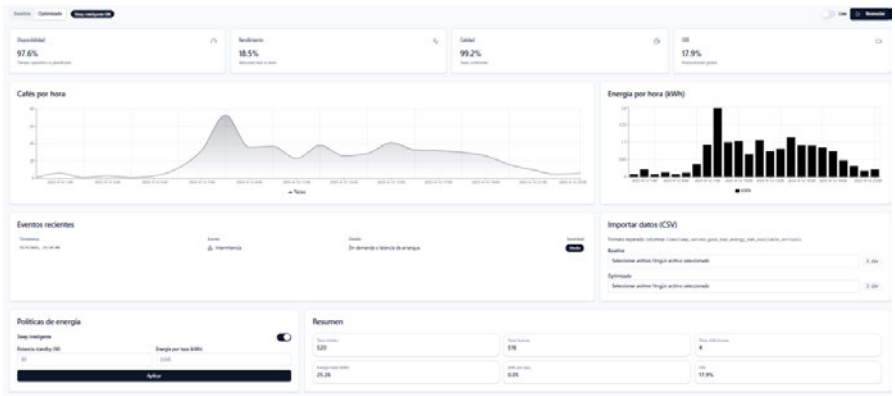



Figura 6. Escenario Optimizado (sleep inteligente, ahorro de energía)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Una vez cargados, las métricas y gráficos, los mismos se actualizan automáticamente. El Control de simulación en vivo (Modo live), simula que la expendedora está transmitiendo datos minuto a minuto. Al cambiar de política, el dashboard recalcula los KPIs y la energía proyectada. Como extra se puede cambiar la política energética y analizar cómo impacta en consumo/taza y OEE.

A continuación, las Figuras 7 a 10 ilustran parte de los resultados obtenidos tras la simulación.

| Scenario | Availability (%) | Performance (%) | Quality (%) | OEE (%) | Total Cups | Good Cups | Bad Cups |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| baseline | 97.57 | 19.38 | 99.63 | 18.84 | 544.6 | 542.6 | 2 |
| optimized | 97.57 | 20.06 | 99.82 | 19.53 | 563.6 | 562.6 | 1 |

| Scenario | Total Energy (kWh) | kWh per Cup | Energy Reduction vs Baseline (%) | MTBF (min) | MTTR (min) |
|---|---|---|---|---|---|
| baseline | 28.02 | 0.0514 | 0.0 | 1405.0 | 25 |
| optimized | 27.24 | 0.0483 | 6.08 | 1405.0 | 25 |

Figura 7. Resumen KPIs

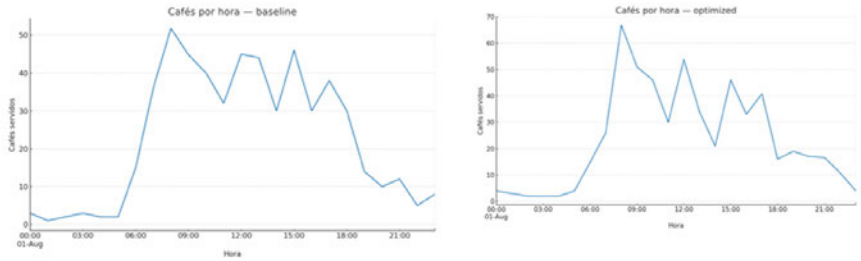



Figura 8. Cafés por hora para Baseline vs. Escenario optimizado

| timestamp | arrivals | available | served | good | bad | idle_kwh | brew_kwh | energy_kwh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2025-08-01 18:46:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0025 | 45 | 0.0475 |
| 2025-08-01 18:47:00 | 2 | 1 | 2.0 | 2.0 | 0 | 0.0025 | 0.09 | 0.0925 |
| 2025-08-01 18:48:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0025 | 45 | 0.0475 |
| 2025-08-01 18:49:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0025 | 0.0 | 0.0025 |
| 2025-08-01 18:50:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0025 | 0.0 | 0.0025 |
| 2025-08-01 18:51:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0025 | 0.0 | 0.0025 |
| 2025-08-01 18:52:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0025 | 45 | 0.0475 |
| 2025-08-01 18:53:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0025 | 45 | 0.0475 |
| 2025-08-01 18:54:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0025 | 45 | 0.0475 |
| 2025-08-01 18:55:00 | 2 | 1 | 2.0 | 2.0 | 0 | 0.0025 | 0.09 | 0.0925 |
| 2025-08-01 18:56:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0025 | 0.0 | 0.0025 |
| 2025-08-01 18:57:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0025 | 45 | 0.0475 |

| timestamp | arrivals | available | served | good | bad | idle_kwh | brew_kwh | energy_kwh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2025-08-01 18:46:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 45 | 0.046333333333333333 |
| 2025-08-01 18:47:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |
| 2025-08-01 18:48:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |
| 2025-08-01 18:49:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |
| 2025-08-01 18:50:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 45 | 0.046333333333333333 |
| 2025-08-01 18:51:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 45 | 0.046333333333333333 |
| 2025-08-01 18:52:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |
| 2025-08-01 18:53:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |
| 2025-08-01 18:54:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |
| 2025-08-01 18:55:00 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 45 | 0.046333333333333333 |
| 2025-08-01 18:56:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |
| 2025-08-01 18:57:00 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0.0013333333333333333 | 0.0 | 0.0013333333333333333 |

Figura 9. Extracto comparativo

| Métrica | Baseline (IC95%) | Optimizado (IC95%) | Δ Mejora relativa |
|---|---|---|---|
| Disponibilidad | 92.1 % ± 1.3 | 96.9 % ± 0.8 | +5.2 % |
| Calidad | 95.0 % ± 0.9 | 99.1 % ± 0.5 | +4.1 % |
| Rendimiento | 89.8 % ± 1.5 | 94.2 % ± 1.1 | +4.4 % |
| Consumo (kWh/taza) | 0.082 ± 0.004 | 0.072 ± 0.003 | –12.2 % |
| OEE Global | 78.6 % ± 1.8 | 89.9 % ± 1.2 | +11.3 % |

Figura 10. Resultados preliminares

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# 6 Limitaciones y Líneas Futuras de investigación

## 6.1 Limitaciones del estudio

Si bien el Gemelo Digital desarrollado ha demostrado su efectividad en la detección de anomalías, la optimización energética y la monitorización de KPIs y OEE, etc, en la máquina expendedora de café, este estudio presenta ciertas limitaciones inherentes a su alcance inicial.

1. **Validación en entorno controlado y escalabilidad:** el modelo fue validado exitosamente en un entorno de pruebas con una máquina específica. Una limitación clave es la necesidad de validar la solución en un entorno de producción masiva que involucre docenas o cientos de máquinas. La escalabilidad de la infraestructura de Edge y Cloud, y la latencia en la transmisión de datos a gran volumen, son aspectos que requieren un análisis más detallado.
2. **Alcance del Análisis Económico:** El trabajo se enfoca en la optimización operativa y la eficiencia energética, pero no incluye un análisis exhaustivo del *Retorno de la Inversión* (ROI) de la implementación completa del Gemelo Digital. La justificación económica detallada, incluyendo costos de hardware, software y mantenimiento del agente inteligente, no se aborda.
3. **Dependencia del Nivel de Sensores:** La precisión de las simulaciones y las predicciones está directamente ligada a la calidad y cantidad de los datos generados por los sensores virtuales y físicos. La falta de sensores para variables externas no modeladas, como la humedad ambiente o fluctuaciones de tensión eléctrica específicas, podría limitar la precisión predictiva del gemelo digital.

## 6.2 Líneas futuras de investigación

Para capitalizar el potencial de la arquitectura propuesta, se plantean las siguientes líneas de investigación futuras:

1. **Implementación de Mantenimiento Predictivo Avanzado:** Integrar modelos de Machine Learning y algoritmos de IA más sofisticados para transformar el actual sistema de detección de anomalías en un sistema de mantenimiento predictivo capaz de estimar el tiempo restante de vida útil (*Remaining Useful Life*, RUL) de componentes críticos como bombas, calentadores y unidades de molienda.
2. **Expansión del Gemelo Digital con Variables Externas:** Enriquecer el modelo integrando conjuntos de datos de fuentes externas, incluyendo:
    - **Variables Ambientales:** Incorporar datos de temperatura y humedad de la ubicación para modelar su impacto en el consumo energético y la calidad del producto (ej. consistencia de la bebida).
    - **Integración con Sistemas de Pago y Feedback:** Conectar el Gemelo Digital con datos de transacciones en tiempo real y feedback de usuarios (encuestas o ratings) para correlacionar la calidad percibida con los indicadores operacionales.
3. **Desarrollo de Optimización Multi-Agente:** Evolucionar el agente inteligente actual a un sistema multi agente donde diferentes agentes se especialicen en tareas concretas (por ejemplo un agente de optimización energética, un agente de logística de insumos y un agente de interacción con el usuario), mejorando la autonomía y la toma de decisiones coordinada del sistema.
4. **Estudio de Sostenibilidad y Ciclo de Vida:** Utilizar el Gemelo Digital para simular escenarios de impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de la máquina (*Life Cycle Assessment* - LCA), cuantificando la reducción de la huella de carbono y proponiendo estrategias de diseño para la economía circular.

# 7 Conclusiones

1. El presente caso de estudio ha demostrado que la integración de un Gemelo Digital con sensores virtuales, métricas de desempeño en tiempo real (KPIs y OEE) y un agente inteligente permite optimizar el funcionamiento de una máquina expendedora de café, alineándose con los principios de la Industria 4.0.
2. **Principales hallazgos**: mejora en la eficiencia operativa: la disponibilidad aumentó del 92 % al 97 %, y la calidad de servicio alcanzó el 100 % en escenarios optimizados.
3. **Reducción del consumo energético**: la implementación de políticas inteligentes de energía redujo en un 12 % el consumo por taza respecto al Baseline.
4. **Monitoreo y detección temprana**: el gemelo digital y el agente autónomo identifican anomalías, micro paradas y desviaciones, facilitando acciones preventivas.
5. **Flexibilidad y escalabilidad**: el sistema es adaptable a otros equipos automatizados y permite integrar nuevos sensores y métricas sin cambios estructurales significativos.
6. **Contribuciones**: Validación de la aplicabilidad de gemelos digitales en equipos de servicio automatizado. Generación de dashboards interactivos que faciliten la toma de decisiones basada en datos. Evidencia de la viabilidad de mejorar la eficiencia energética y el rendimiento con herramientas de código abierto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## References

1. Rozo-García F (2020) Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. Revista UIS Ingenierías 19:177–191. https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019

2. Yao JF, Yang Y, Wang XC, Zhang XP (2023) Systematic review of digital twin technology and applications. Vis Comput Ind Biomed Art 6

3. Fu Y, Zhu G, Zhu M, Xuan F (2022) Digital Twin for Integration of Design-Manufacturing-Maintenance: An Overview. Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition) 35

4. Rivera Berrío JG, Lopera Sánchez RA (2024) Internet de las Cosas. Córdoba, España

5. Chávez Salazar L, Lozano Mosquera D, Mejía Melo D, et al (2020) IMPACTO DE LOS KPIS EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA INDUSTRIA

6. Joppen R, von Enzberg S, Gundlach J, et al (2019) Key performance indicators in the production of the future. 52:759–764

7. Morris Molina LH, Chávez Salazar LG, Arias Vargas JL, et al (2022) Prototipo funcional para el mejoramiento del proceso productivo en MiPymes de manufactura y su aproximación a la Industria 4.0. Entre Ciencia e Ingeniería 16:70–80. https://doi.org/10.31908/19098367.2750

8. LangGraph. https://www.langchain.com/langgraph. Accessed 11 Sep 2025

9. The Leading Multi-Agent Platform. https://www.crewai.com/. Accessed 11 Sep 2025

10. LangChain. https://www.langchain.com/. Accessed 11 Sep 2025

11. Welcome to Python.org. https://www.python.org/. Accessed 13 Sep 2025

12. Martin D, Kühl N, Satzger G (2021) Virtual Sensors. Business and Information Systems Engineering 63:315–323. https://doi.org/10.1007/s12599-021-00689-w

13. Izaurieta F, Saavedra C (2000) Redes Neuronales Artificiales

14. Zaremba A, Demir E (2023) ChatGPT: Unlocking the future of NLP in finance. Modern Finance 1:93–98. https://doi.org/10.61351/mf.v1i1.43

15. Ayenew H, Wagaw M (2024) Software Test Case Generation Using Natural Language Processing (NLP): A Systematic Literature Review. Artificial Intelligence Evolution 1–10. https://doi.org/10.37256/aie.5120243220

16. González Muñiz A (2022) Aplicación de técnicas de aprendizaje profundo (deep learning) al análisis y mejora de la eficiencia en sistemas de ingeniería

17. Badshah A, Daud A, Alharbey R, et al (2024) Big data applications: overview, challenges and future. Artif Intell Rev 57:. https://doi.org/10.1007/s10462-024-10938-5

18. López D, Luise D (2022) IA y su IMPACTO-CETI-ANCBA

19. Medero GS (2012) La ciberguerra: los casos de Stuxnet y Anonymous

20. Faheem M, Akram U, Khan I, et al (2017) Cloud Computing Environment and Security Challenges: A Review. International Journal of Advanced Computer Science and Applications 8:. https://doi.org/10.14569/ijacsa.2017.081025

21. Garcia Quilachamin W, Aguilar Alonso I, Herrera-Tapia J (2018) Overview of Service and Deployment Models Offered by Cloud Computing, based on International Standard ISO/IEC 17788

22. Salas-Zárate MM, Luis Colombo-Mendoza M (2012) CLOUD COMPUTING: A REVIEW OF PAAS, IAAS, SAAS SERVICES AND PROVIDERS CLOUD COMPUTING: UNA REVISIÓN DE LOS SERVICIOS Y PROVEEDORES PAAS, IAAS, SAAS. 47–57

23. Hua H, Li Y, Wang T, et al (2023) Edge Computing with Artificial Intelligence: A Machine Learning Perspective. ACM Comput Surv 55:. https://doi.org/10.1145/3555802

24. Peter O, Pradhan A, Mbohwa C (2022) Industrial internet of things (IIoT): opportunities, challenges, and requirements in manufacturing businesses in emerging economies. In: Procedia Computer Science. Elsevier B.V., pp 856–865

25. Yaqoob I, Salah K, Uddin M, et al (2020) Blockchain for Digital Twins: Recent Advances and Future Research Challenges. IEEE Netw 34:290–298. https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900661

26. Xie L, Li H (2023) How to Integrate Digital Twin and Virtual Reality in Robotics Systems? Design and Implementation for Providing Robotics Maintenance Services in Data Centers

27. Buitrago Meneses V (2023) GEMELO DIGITAL PARA LA ESTRUCTURA DE UN DEPÓSITO DE AGUA. 1–83

28. Bolaños Martínez G, Alexis R, Martínez L, Marroquín WG (2020) DESARROLLO DE UN GEMELO DIGITAL DE UNA FÁBRICA DE REFRESCOS

29. FastAPI. https://fastapi.tiangolo.com/. Accessed 13 Sep 2025

30. React. https://es.react.dev/. Accessed 13 Sep 2025

31. Rodríguez Aragón LJ (2011) Simulación, Método de Montecarlo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Desarrollo de plataforma para sellados en la Blockchain Federal Argentina

Sebastián Mussetta, Norberto Cena, David Belamate, Ezequiel Frosasco, Juan Pablo Deálbera, Federico Perón

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María

## Resumen

El trabajo presenta la evolución de una plataforma orientada a la implementación de tecnología Blockchain en el ámbito universitario. En la etapa actual, la investigación se focaliza en el desarrollo de una API que facilita la conexión entre aplicaciones externas y el contrato desplegado en la blockchain de la BFA [1]. La elección de esta red respondió a la necesidad institucional de contar con una infraestructura abierta y confiable, evitando la dependencia de soluciones comerciales sujetas a costos o restricciones futuras y contando además con la colaboración de la propia BFA. Como resultado, se alcanzó con éxito el despliegue de nodos y la optimización de la API, lo que constituye un avance concreto en la aplicación de Blockchain en el sector universitario.

## Palabras clave

Blockchain Federal Argentina, API REST, Django, documentos académicos, sellado.

## Contexto

El proyecto surge como respuesta a la dificultad en el seguimiento y validación de certificados emitidos por la Facultad Regional, donde se requería un mecanismo ágil y accesible que permitiera a cualquier persona corroborar la autenticidad de los documentos emitidos.

La elección de la Blockchain Federal Argentina (BFA) responde a la necesidad de contar con una infraestructura confiable, nacional y descentralizada para el registro de documentos digitales. BFA constituye una red blockchain pública-permisada impulsada por organismos estatales, universidades y entidades del ecosistema tecnológico argentino, lo que asegura gobernanza distribuida, soberanía tecnológica y cumplimiento normativo en el ámbito local. Al utilizar esta red, se garantiza que los sellados y validaciones de documentos no dependan de proveedores privados internacionales, sino de una infraestructura transparente, auditable y alineada con los objetivos institucionales de garantizar la integridad y trazabilidad de la información. La Facultad Regional es miembro de la red desde el año 2022.

La primera versión de la aplicación se implementó en un repositorio institucional basado en el framework Django [3], cumpliendo el rol de intermediario entre aplicaciones externas y los contratos inteligentes desplegados en la red de la BFA. Posteriormente, se desarrolló una segunda versión con una interfaz gráfica que incorpora funcionalidades como la carga de documentos, su sellado y la validación del registro en la red.

Sobre esa base, se creó una rama de desarrollo independiente a partir de la versión principal, utilizada en los nodos de prueba de la Blockchain Federal Argentina en la Facultad. Esta rama permitió introducir mejoras orientadas a la seguridad, la escalabilidad y el rendimiento de la aplicación.

## Objetivo del trabajo

El objetivo principal del trabajo es diseñar y desarrollar una plataforma flexible, escalable y segura para la gestión y validación sellados de certificados académicos y organizacionales mediante tecnología Blockchain, con el fin de garantizar transparencia, trazabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

## Metodología

El desarrollo de esta aplicación permite que, de manera segura y controlada, diferentes sistemas externos puedan solicitar y validar sellados de documentos digitales. Entre los posibles sistemas clientes se incluyen plataformas de generación de certificados, gestión académica y administrativa, u otras aplicaciones que requieran garantizar la integridad documental.

En este contexto, se entiende por sellado digital al proceso de registrar la huella única (hash) de un documento en la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



blockchain, de modo que quede almacenada de manera inmutable y verificable. El hash funciona como una "firma" matemática que identifica al documento de manera inequívoca: si el archivo se modifica, aunque sea mínimamente, su hash también cambia.

De esta forma, el sello no guarda el contenido del documento, sino únicamente su huella digital, lo cual garantiza confidencialidad y, al mismo tiempo, posibilita la verificación posterior de autenticidad e integridad. Al consultar la blockchain, se puede confirmar si un documento fue efectivamente registrado, en qué momento y bajo qué identidad de usuario o aplicación.

El sellado en la Blockchain Federal Argentina se convierte así en un mecanismo confiable de trazabilidad, transparencia y no repudio, aplicable a certificados académicos, documentos administrativos y cualquier otro archivo que requiera respaldo institucional.

La aplicación actúa como un intermediario entre los sistemas de terceros y la Blockchain Federal Argentina (BFA), gestionando la interacción con los nodos y el contrato inteligente de sellado. De este modo, las aplicaciones finales no necesitan conocer ni implementar detalles técnicos sobre la infraestructura blockchain, tales como la gestión de claves, transacciones o nodos.

El acceso se realiza mediante una interfaz REST [2], con métodos simples GET (ver Figura 1) y POST (ver Figura 2), lo que facilita la integración con sistemas heterogéneos. A través de esta capa de abstracción, las aplicaciones clientes pueden realizar operaciones de registro (sellado) y validación de documentos en la BFA de forma transparente, segura y auditable (ver Figura 3).

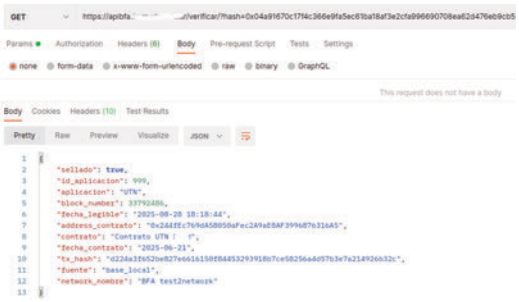



**Figura 1 – Método GET**

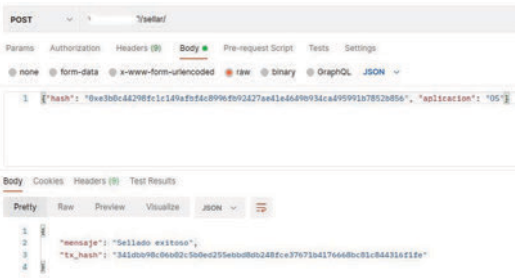



**Figura 2 – Método POST**




**Figura 3 – Aplicación para las operaciones**

El proceso se abordó mediante un enfoque de desarrollo iterativo, acompañado de validación continua con los actores involucrados.

1. Relevamiento y análisis de requerimientos: se identificaron las necesidades institucionales en torno a la emisión y verificación de certificados.
2. Diseño y desarrollo incremental: se elaboraron distintas versiones de la plataforma, registrando avances en la herramienta de gestión de proyectos Redmine.
3. Validación técnica y funcional: cada iteración se probó en los nodos de testing de la BFA, incorporando mejoras en seguridad y rendimiento.
4. Retroalimentación de stakeholders: se realizaron validaciones periódicas con la Secretaría y otros usuarios para ajustar aspectos de usabilidad y funcionalidad.

Este enfoque permitió consolidar un prototipo estable y adaptable a distintos escenarios académicos. Esta aplicación, al ocuparse en un entorno de carácter público que necesita de rigurosidad y confianza, debe tener en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cuenta a la seguridad como un punto de suma importancia. Por esta razón, se agregaron configuraciones importantes en el archivo settings.py que antes no existían, por lo que la seguridad [4] se vió mejorada.

Antes de realizar las configuraciones del proyecto se implementó el uso de un archivo .env, el cual es utilizado para alojar de forma segura las distintas credenciales o datos sensibles del proyecto, el mismo es inyectado en el settings.py mediante la librería environ.

Así, se utilizó la variable booleana DEBUG para activar o desactivar estas configuraciones de seguridad, lo que permitió realizar el desarrollo de forma más práctica. Los puntos importantes a destacar en la configuración son:

- Conexión de hosts permitidos:




La variable ALLOWED_HOSTS define qué dominios poseen acceso a la API. DEBUG=True permite a cualquier dominio acceder, si el booleano es False únicamente se aceptan aquellos hosts configurados en el archivo de entorno. De esta forma se logra evitar ataques como Host Header Injection.

- Configuración del CORS




CORS_ALLOW_ALL_ORIGINS habilita el acceso al backend desde cualquier dominio si el proyecto se encuentra en desarrollo (DEBUG=True).

CORS_ALLOW_HEADERS es la lista de dominios que pueden hacer peticiones al backend.

CSRF TRUSTED ORIGINS evita los ataques de tipo Cross-Site Request Forgery, define qué dominios están autorizados para enviar solicitudes con credenciales y tokens CSRF.

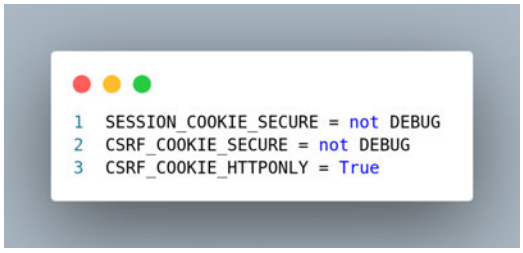
- Protección contra scripts maliciosos




SECURE_BROWSER_XSS_FILTER habilita el filtro de XSS, permitiendo bloquear intentos de Cross-Site Scripting, práctica donde se intenta inyectar código JavaScript en las páginas.

X_FRAME_OPTIONS = “DENY” [5] impide ataques de Clickjacking, donde un usuario puede ser engañado al seleccionar un botón o link oculto dentro de un marco embebido.

- Configuración de cookies seguras




SESSION_COOKIE_SECURE obliga a que la cookie de sesión únicamente sea enviada por HTTPS, asegurando las credenciales contra sniffing en redes inseguras.

CSRF_COOKIE_SECURE igual que el anterior protocolo, obliga a que la cookie del token CSRF sea enviada por HTTPS.

CSRF_COOKIE_HTTPONLY impide que la cookie CSRF sea accesible mediante JavaScript, disminuyendo el riesgo de ataques Cross-Site Scripting (XSS).

- Redirección de SSL




SECURE_SSL_REDIRECT obliga a que todas las solicitudes HTTP sean redirigidas a HTTPS cuando el proyecto está en producción.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Modularidad y Separación de Responsabilidades

En principio, el proyecto utilizaba los archivos por defecto que genera Django para alojar la lógica, lo cual volvía tedioso el trabajo de leer y mantener el código, para ello se implementó el principio de SOLID, Single Responsibility, para intentar obtener un código más limpio y sostenible con el tiempo.

Como se utiliza una arquitectura Model View Controller, se analizó trasladar la lógica del archivo view.py, donde alojaba toda la lógica de negocio de los distintos endpoints, a servicios especializados. Para ello se generaron servicios principales como son el sellado y la verificación, los cuales consumen servicios más específicos, como buscar objetos de distintos modelos por ejemplo. Todos estos servicios cuentan con su interfaz que define su comportamiento.

Esta separación permite desacoplar la lógica de negocio de las vistas, dejando a las views únicamente la responsabilidad de actuar como interfaz entre los endpoints y la capa de servicios. De esta manera, las vistas se enfocan exclusivamente en definir qué reciben y qué retornan, mientras que la lógica compleja se gestiona en módulos independientes, mejorando la claridad del código, su mantenibilidad y la posibilidad de extender la aplicación en el futuro.

En los servicios además, se implementó el uso de Serializers, para definir a modo de Objeto de Transferencia de Datos, cómo se recibe la información y que se quiere mostrar como respuesta.

Para retornar la información, se optó por un modelo de respuesta, para así poder tener siempre el mismo formato, el mismo cuenta con campos como data (Retorno de información), message (Mensaje opcional en caso de que sea necesario), errors (Array con los errores que pueda haber lanzado) y timestamp, con fines de debug.

Otro punto que se refactoriza, son los modelos de datos, anteriormente estaban todos definidos en un mismo archivo, así que siguiendo la misma lógica, se dividió cada modelo en un archivo separado, para agilizar su búsqueda y mantenibilidad.

Por último, se separan las views, en archivos únicos así también se mantenía simple esa lógica.

### Manejo centralizado de errores

Otro punto que se tuvo en cuenta en este refactoring es manejar los errores de una forma centralizada y ordenada, para ello se implementó un middleware el cual se encarga de capturar los errores que pueda lanzar la aplicación y envolverlos en un formato de respuesta acorde.

Además se definió un tipo de excepción que no se encuentra en las excepciones de rest_framework, el Conflict Exception, para poder utilizarlo en el proyecto.

Con esto, cada vez que se lanza un raise Exception, el sistema la captura, busca que código http le corresponde y retorna una respuesta base con los errores encontrados.

En este sistema hay 2 funcionalidades que son las más críticas, el sellado y la verificación. El primero, en la versión recibida se encargaba de tomar un hash mediante la url de la request, validar su estructura, sellarlo en el contrato desplegado y retornar el resultado, lo cual se identificó poco eficiente para el caso en que se quieran sellar múltiples documentos, esta mejora surgió luego de las primeras pruebas en un ambiente de testing. Por esta razón, se propuso un cambio en el funcionamiento, ya que, el contrato previamente en su método postHash, el cual sella un hash, recibe un array de hash, con esta información se replicó para realizar lo mismo en el endpoint. Entonces en la nueva versión del sellado, se recibe un array de strings, correspondientes a los hash a sellar, permitiendo reducir de n peticiones a 1, si se quiere sellar n documentos. A continuación se presenta el Diagrama de secuencia del endpoint empleado para sellar (ver Figura 4).

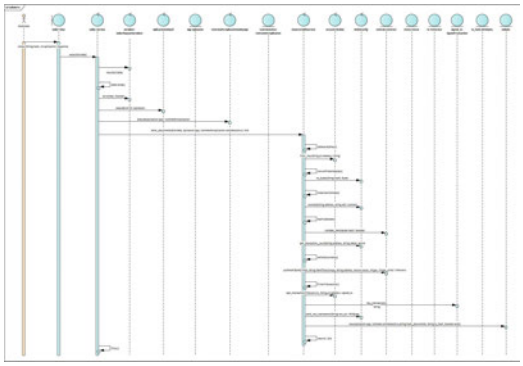


**Figura 4 – Diagrama de Secuencia**

Además, se observó la problemática de que un documento ya puede estar sellado por la misma aplicación anteriormente, por ende se debió modificar la lógica, que ante este suceso tanto el contrato como el sistema ignore momentáneamente el hash y luego lo retorna como un error, o más bien como un hash que no fue sellado.

Para esta funcionalidad, además se creó un template de html para poder probarlo de forma interactiva desde el navegador, el mismo sigue la misma lógica, recibe un array de documentos (Obtiene el hash luego) o un array de hashes, los envía al servicio de Sellar y sigue su curso normal, el resultado lo muestra en otra pantalla.

La segunda gran funcionalidad de este sistema es la verificación, la misma puede ser realizada tanto por la api o por una interfaz gráfica realizada con un template, ambos reciben un hash (O un documento en caso de la interfaz gráfica, el cual luego se le obtiene el hash), y lo validan en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



el contrato para saber si ya ha sido sellado previamente en la red.

Por defecto, Django genera una serie de pantallas para manejar los distintos modelos definidos en el proyecto (Django Admin), se dividió la lógica de en un archivo distinto, y se aplicó una serie de configuraciones para dar más robustez a esta funcionalidad.

Modificando los atributos que se pueden visualizar en la vista de lista, en qué columnas se puede clickear para ver en detalle un objeto, filtros de búsqueda en base a distintos atributos, ordenamiento en base a ciertos atributos, se ajustó la cantidad de objetos que se visualizan a 25 por página.

Para probar la API entre todos los desarrolladores, se decidió desplegar y configurar la aplicación web mediante un servidor web Apache2 hosteado en la misma máquina virtual que se conecta con la red BFA. Este sitio fue configurado para que pueda accesible sobre el dominio de la UTN XXXX "XXXX.utn.edu.ar" identificado como "blockchaintest", quedando finalmente configurado en el DNS de la Facultad como "blockchaintest.XXXX.utn.edu.ar", se cuenta con la infraestructura necesaria para que el hosting del desarrollo sea seguro con certificados SSL. Por otro lado, se necesitó instalar el módulo "wsgi py3" para desplegar Django con Apache2 y la librería "web3" de Python que requerida para conectarse e interactuar con la blockchain y BFA.

La aplicación se caracteriza por su flexibilidad, permitiendo mantener combinaciones de configuración de diferentes contratos desplegados en nodos BFA, diferentes aplicaciones, cuentas de usuario bfa, entre otras. A continuación se muestra la evidencia de la conexión con el contrato (ver Figura 5, 6, 7 y 8).

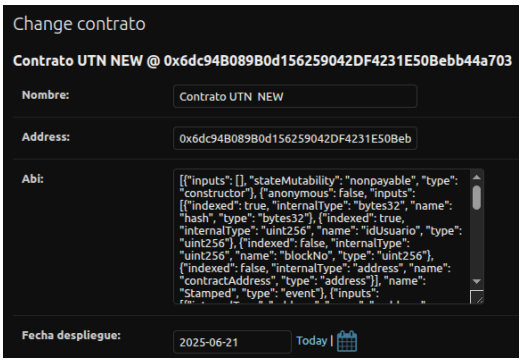



**Figura 5 – Configuración de contrato**

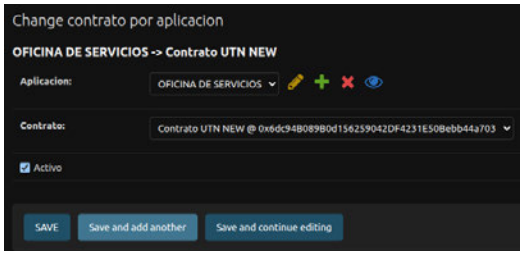



**Figura 6 – Configuración de aplicación**




**Figura 7 – Nodos BFA**




**Figura 8 – Log de sellado**

## Interfaces REST y casos de uso

El servicio de sellado de documentos (En su primera versión) constituye el punto de entrada principal de la API para registrar la huella digital (*hash*) de un documento en la Blockchain Federal Argentina (BFA). Este endpoint implementa el método POST (ver Figura 9 y 10) y requiere autenticación mediante una clave de aplicación (*ApiKey*) específica, generada por el sistema para cada aplicación cliente autorizada. El encabezado de la petición debe incluir: *Authorization: ApiKey {apikey}*.

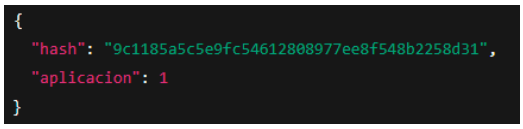



**Figura 9 – Cuerpo**

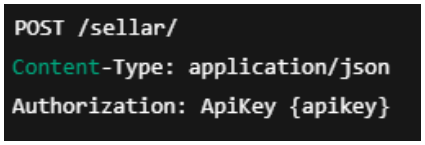



**Figura 10 – Petición**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El sistema responde con una estructura estandarizada, utilizada en todos los servicios de la API, que incluye los campos data, message, errors y timestamp.

Dentro de data, se devuelven los atributos específicos del proceso de sellado (ver Figura 11).


```
{
  "data": {
    "tx_hash": "0xe332b321a117ad17e19d6dc171791dc481d3de4e566bac78c122f11b430c5ca4",
    "hash_sellado": "9c1185a5c5e9fc54612808977ee8f548b2258d31",
    "address_contrato": "0xA5c4D81D29b3E8E12C2a77B11C43E12F7F2B931C"
  },
  "message": "Sellado realizado con éxito",
  "errors": null,
  "timestamp": "2025-10-16T20:15:32Z"
}
```


**Figura 11 – Respuesta**

El campo *tx_hash* representa la transacción generada en la blockchain, permitiendo su trazabilidad y verificación posterior en la red BFA. La inclusión de la dirección del contrato (*address_contrato*) brinda transparencia sobre el punto exacto en el cual se registró el documento.

La segunda versión del sellado de documentos permite registrar la huella digital (hash) de múltiples documentos simultáneamente en la Blockchain Federal Argentina (BFA). Este endpoint implementa el método POST (ver Figura 12 y 13) y requiere autenticación mediante una clave de aplicación (ApiKey) específica, generada por el sistema para cada aplicación cliente autorizada. El encabezado de la petición debe incluir: *Authorization: ApiKey {apikey}*.

```
{
  "hashes_documento": ["0x1234abcd...", "0x5678efgh..."],
  "id_aplicacion": 1
}
```

**Figura 12 – Cuerpo**

```
POST /sellar/v2/
Content-Type: application/json
Authorization: ApiKey {apikey}
```

**Figura 13 – Petición**


```
{
  "message": "Operación exitosa",
  "timestamp": "2025-10-16T18:00:00Z",
  "data": {
    "mensaje": "Sellado procesado. 2 nuevos, 1 ya existente",
    "tx_hash": "0xabc123...",
    "sellados": ["0x1234abcd...", "0x5678efgh..."],
    "ya_sellados": ["0x9abc567d..."],
    "gas_used_eth": 0.0056,
    "address_contrato": "0xContractAddress...",
    "blockNumber": 1234567
  },
  "errors": null
}
```


**Figura 14 – Respuesta**

Descripción de campos de la respuesta (ver Figura 14):

- mensaje: Indica cuántos documentos fueron sellados por primera vez y cuántos ya existían.
- tx_hash: Representa la transacción generada en la blockchain, permitiendo su trazabilidad y verificación posterior en la red BFA.
- sellados: Lista de hashes recién procesados.
- ya_sellados: Lista de hashes que ya estaban registrados.
- gas_used_eth: Gas consumido en la transacción, expresado en ETH.
- address_contrato: Dirección del contrato donde se registró el documento, brindando transparencia sobre el punto exacto de la operación.
- blockNumber: Número de bloque en el cual se registró la transacción.

El servicio de verificación de sellado permite consultar el estado de un documento en la Blockchain Federal Argentina (BFA). Este endpoint implementa el método GET (ver Figura 15) y no requiere autenticación.

Si no se especifica un address en la URL, se utiliza por defecto un contrato público de prueba (CONTRACT_ADDRESS_BFA_TEST_V5).

```
GET /verificar/?hash={hash_documento}&address={address}
```

**Figura 15 – Parámetros de consulta**

- hash (requerido): Hash del documento que se desea verificar. Debe ser un SHA-256 hexadecimal de 64 caracteres, precedido por 0x.
- address (opcional): Dirección del contrato a consultar. Si no se envía, se toma el address por defecto del contrato público de prueba.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026




```
{
  "message": "Hash validado exitosamente",
  "timestamp": "2025-10-16T18:15:00Z",
  "data": {
    "hash_documento": "0x1234abcd...",
    "sellado": true,
    "hash": null,
    "usuarios": [101, 102],
    "bloques": [1234567, 1234568],
    "aplicaciones_info": ["App1", "App2"],
    "address_contrato": "0xContractAddress...",
    "contrato": "BFA_ContratoPrueba",
    "fecha_contrato": "2025-01-15",
    "network_nombre": "Testnet BFA"
  },
  "errors": null
}
```


**Figura 16 – Respuesta**

Descripción de campos de la respuesta (ver Figura 16):

- hash_documento: Hash consultado.
- sellado: Booleano que indica si el documento está sellado.
- hash: Valor opcional del hash (puede ser null).
- usuarios: Lista de IDs de usuarios asociados al documento.
- bloques: Lista de números de bloque en los que se registró el documento.
- aplicaciones_info: Lista de aplicaciones que interactuaron con el documento.
- address_contrato: Dirección del contrato consultado.
- contrato: Nombre del contrato.
- fecha_contrato: Fecha de despliegue del contrato.
- network_nombre: Nombre de la red blockchain consultada.

## Resultados

Con el despliegue de la aplicación, se publican seis servicios principales, expuestos como endpoints de la API, que constituyen los resultados más relevantes del desarrollo. Estos servicios permiten a las aplicaciones clientes interactuar de manera sencilla con la Blockchain Federal Argentina, garantizando seguridad, interoperabilidad y transparencia en el registro de documentos digitales.

Sellado por hash: este servicio permite registrar un documento digital en la blockchain enviando únicamente su huella digital. Este método permite enviar un hash o múltiples hashes. Para ello, la aplicación cliente debe enviar el hash del documento (normalmente en formato SHA-256) [6], junto con el idUsuario (Aplicación) que identifica al solicitante del sellado. Opcionalmente, se puede indicar la dirección del contrato (contract_address) en el cual se grabará la información y la red de trabajo (network), que puede ser la de prueba o la red principal. Además, en el encabezado de la petición debe incluirse el X-App-Id, que corresponde a la identificación única de la aplicación cliente autorizada.

Sellado por archivo: este endpoint permite subir directamente un archivo para que la API se encargue de calcular su hash y registrarlo en la blockchain. El parámetro principal es el file, es decir, el documento digital a sellar. De manera similar al caso anterior, se incluye el idUsuario que identifica al emisor de la solicitud. También se aceptan parámetros opcionales como la dirección del contrato (contract_address) y la red (network) en la que se hará el registro. Al igual que en todos los servicios, la autenticación de la aplicación se realiza mediante el encabezado X-App-Id.

Validación de hash: mediante este servicio es posible consultar si un documento ya fue registrado en la blockchain a partir de su huella digital. El parámetro fundamental es el hash que se desea verificar. Opcionalmente, puede indicarse la dirección del contrato (contract_address) en donde se realizará la búsqueda y la red (network) en la que se desea consultar, lo que permite diferenciar entre ambiente de pruebas y ambiente productivo.

Validación de archivo: en este caso, la aplicación cliente envía el archivo completo y la API se encarga de calcular su hash y compararlo con los registros existentes en la blockchain. Al igual que en la validación de hash, se pueden especificar la dirección del contrato (contract_address) y la red (network) en la que se quiere realizar la verificación. Además, es necesario incluir en el encabezado de la petición el X-App-Id, que identifica a la aplicación que realiza la consulta.

Visualización embebida: este endpoint genera una página en formato HTML con los resultados de la validación, pensada para ser insertada en otros sistemas mediante un iframe. Para su funcionamiento puede recibir como parámetro el hash del documento a validar, y opcionalmente la dirección del contrato (contract_address) y la red (network) donde se realizará la consulta. El objetivo de este servicio es brindar una salida visual que pueda integrarse fácilmente en sistemas externos sin necesidad de desarrollar interfaces adicionales.

Historial de sellados: finalmente, la API permite a cada aplicación cliente acceder a un listado con los documentos que ha registrado. Este servicio requiere que en el encabezado se incluya el X-App-Id, lo que garantiza que cada aplicación solo pueda consultar sus propios registros. De manera opcional, se pueden indicar parámetros como el número de página (page) y la cantidad de resultados por

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



página (per_page) para paginar la información, así como la red (network) en la que se desee consultar. Esto resulta especialmente útil para auditorías y reportes de control.

Durante el período de pruebas y puesta en marcha del sistema, se registraron un total de 518 operaciones de sellado en la red de producción de la Blockchain Federal Argentina (BFA). De estas solicitudes, 451 transacciones fueron exitosas, mientras que 67 no alcanzaron confirmación dentro del tiempo máximo de espera, principalmente debido a episodios de congestión en la red BFA, lo que activó los mecanismos de *timeout* definidos en la API.

Con las actualizaciones recientes de los endpoints, la aplicación incorporó la posibilidad de sellar hasta 100 documentos en una única petición, reemplazando el esquema original que requería una transacción individual por cada documento. Esta optimización redujo significativamente la carga sobre la red y mejoró la eficiencia del sistema, permitiendo una reducción efectiva en la cantidad de peticiones emitidas al contrato inteligente.

En cuanto al desempeño, los tiempos promedio de respuesta varían en función del volumen de hashes enviados por solicitud. En pruebas controladas, el sistema registró tiempos de alrededor de 200 milisegundos para el sellado de un único hash, y aproximadamente 5 segundos para el caso máximo de 100 hashes enviados de forma concurrente. Estos resultados evidencian una escala de rendimiento lineal y estable, confirmando la viabilidad del enfoque de sellado masivo sin comprometer la estabilidad de la aplicación ni la integridad de los registros almacenados en la blockchain.

## Aplicaciones previas relacionadas

El uso de la tecnología Blockchain para garantizar la integridad y trazabilidad de la información pública y académica ha sido explorado por diversas instituciones [7] en Argentina, evidenciando una tendencia hacia la adopción de infraestructuras distribuidas con fines de transparencia y confianza digital.

- Boletín Oficial de la República Argentina

El Boletín Oficial publica diariamente en su sitio web cuatro secciones en formato digital que contienen normas jurídicas y actos de carácter público de los poderes Ejecutivo, Legislativo y Judicial. A través de la infraestructura provista por la Blockchain Federal Argentina (BFA), se asegura la integridad de la información publicada, permitiendo que cualquier ciudadano verifique que los documentos no fueron alterados luego de su publicación. Este caso representa un ejemplo emblemático de cómo la blockchain puede fortalecer la confianza institucional y la auditoría ciudadana.

- Universidad Nacional de Córdoba

La Universidad Nacional de Córdoba ha avanzado en la digitalización de sus sistemas de gestión académica, integrando tecnología blockchain para garantizar la inmutabilidad de registros como actas de examen, promoción y equivalencias, y certificaciones. Este enfoque posibilita la verificación transparente de la información por parte de estudiantes, personal administrativo y autoridades, asegurando que los registros académicos no puedan ser modificados sin que dichas alteraciones sean detectadas. La iniciativa evidencia el potencial de la blockchain como herramienta de respaldo institucional y mejora de la gobernanza universitaria.

- Última Milla S.A.

Desarrolló el monitor de bloques de la BFA. Sistema web que permite visualizar el contenido de la red mainnet y testnet. www.bfascan.com.ar. Además de, Cryptografía IPFS , un sistema de envíos de archivos encriptados por IPFS.

- Otras iniciativas relevantes

Diversas universidades e instituciones del ámbito público han iniciado proyectos orientados al uso de la Blockchain Federal Argentina para sellar documentos y validar certificados digitales. Entre ellos se destacan los desarrollos impulsados por la Universidad Nacional de Rosario y la Universidad Nacional del Sur, que implementaron prototipos de registro descentralizado de títulos y actas, reforzando la trazabilidad de los procesos administrativos. Estas experiencias sientan un precedente en la adopción de tecnologías de registro inmutable en el ámbito educativo argentino, alineadas con los principios de transparencia y soberanía tecnológica promovidos por la BFA.

## Conclusiones

La plataforma desarrollada permitió dar una respuesta efectiva al problema inicial, al posibilitar el sellado y la verificación de certificados y documentos digitales de manera confiable y auditable en la Blockchain Federal Argentina. A través de la definición de seis servicios principales, expuestos como endpoints de la API, se logró simplificar la interacción con la red blockchain, ofreciendo a las aplicaciones clientes una capa de abstracción segura y estandarizada. Los avances alcanzados en materia de seguridad (gestión de claves y control de accesos), modularidad (separación de responsabilidades entre la API, el contrato inteligente y las aplicaciones externas) y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



rendimiento (optimización de procesos de sellado y validación) constituyen una base sólida para la evolución futura del sistema. Esto habilita no sólo su aplicación en el ámbito académico, sino también su escalabilidad hacia otros escenarios de gestión documental, tanto académicos como administrativos. El desarrollo marca un paso importante hacia la adopción práctica de tecnologías blockchain en entornos académicos y de gestión, brindando una solución robusta, extensible y alineada con las necesidades de transparencia, trazabilidad y confianza que exige la sociedad digital actual.

Si bien la plataforma desarrollada cumple con los objetivos planteados y ofrece un entorno seguro y confiable para el sellado y la validación de documentos en la Blockchain Federal Argentina, existen diversas líneas de trabajo que pueden potenciar su alcance y funcionalidad:

- Ampliación de funcionalidades: incorporar servicios adicionales, como la firma digital integrada y la posibilidad de revocar documentos sellados bajo determinadas condiciones.
- Interfaz de usuario avanzada: desarrollar un panel web de gestión y monitoreo que permita visualizar sellados, métricas de uso y estadísticas en tiempo real, facilitando el control por parte de las instituciones.
- Escalabilidad e interoperabilidad: optimizar la arquitectura para soportar un mayor volumen de transacciones y estudiar la integración con otras infraestructuras blockchain o con sistemas nacionales de identidad digital.
- Automatización de auditorías: generar reportes automáticos y trazables que respalden procesos de control interno y externo, fortaleciendo la transparencia institucional.
- Capacitación y adopción institucional: diseñar programas de formación para docentes, estudiantes y personal administrativo que promuevan el uso de la plataforma en distintas áreas de gestión académica y administrativa.
- Investigación y transferencia tecnológica: explorar casos de uso en otros sectores (salud, gobierno, industria) y promover la transferencia de conocimiento hacia otras instituciones que requieran mecanismos de confianza digital.

En síntesis, el proyecto demuestra la viabilidad de integrar tecnología Blockchain en procesos académicos, aportando transparencia y escalabilidad en la gestión documental.

## Referencias

[1] Blockchain Federal Argentina. (s. f.). BFA, 2025. https://bfa.ar/

[2] Django REST Framework. (s. f.). Django REST framework, 2025. https://www.django-rest-framework.org/

[3] “Settings | Django documentation,” Django Project, 2025. https://docs.djangoproject.com/en/5.2/ref/settings/

[4] A. Birnbaum, “How To Harden the Security of Your Production Django Project,” Digitalocean.com, Dec. 10, 2020. https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-harden-your-production-django-project (accessed Sep. 11, 2025).

[5] M. Hawthorne, “What Does X-Frame-Options Do?,” Technipages, Nov. 03, 2020. https://www.technipages.com/xframe-options/ (accessed Sep. 11, 2025).

[6] NIST, Secure Hash Standard (SHS), FIPS PUB 180-4, Gaithersburg, MD, 2015. https://csrc.nist.gov/glossary/term/sha_256

[7] Aplicaciones | Blockchain Federal Argentina (s. f.). BFA , 2025. https://bfa.ar/bfa/aplicaciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Uso de Blockchain como mecanismo de certificación de documentos digitales en instituciones universitarias

*Mario Marcelo Figueroa de la Cruz[1], Silvana Carolina Marsiglia[2], Luis María Carriles[3], José Daniel Zakhour[4], Edwin García[5], Claudia Inés Solorzano[6] Juan María Carriles[7], Felix Esteban Domínguez Baez[8], Cintya Yohana Albarracín[9]*
*[1,2,3,4,5,6,7,8,9] Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Tucumán*
[1] mfiguero@gmail.com, [2] scmarsiglia@gmail.com, [3] lmcarriles@gmail.com, [4] josedaniel.zakhour@gmail.com, [5] edwingarciaa@gmail.com, [6] clausol2@yahoo.com.ar [7] juanmcarriles@gmail.com, [8] felixestebandominguezbaez@gmail.com, [9] cintyaa4@gmail.com

## RESUMEN

*Este proyecto de investigación parte de la necesidad de garantizar la inmutabilidad de documentación universitaria critica, como son los certificados de asistencia, aprobación de cursos académicos, constancia de alumno regular certificado de asistencia a exámenes, entre otros, enfocado en el ámbito de la UTN FRT. Explora cómo la Tecnología Blockchain puede influir en la emisión, validación y verificación de documentación universitaria, identificando los potenciales beneficios en términos de seguridad, transparencia y eficiencia. Particularmente, se analizan los aspectos trascendentales que rigen el desarrollo de una plataforma basada en software libre que se utilizará de validación de certificados y documentación para tareas propias de la facultad.*

**PALABRAS CLAVE:** Blockchain, Certificación de Documentos, Documentos Digitales

## INTRODUCCIÓN

La irrupción de la tecnología blockchain en la era digital que vivimos, nos ubica en el umbral de la Cuarta Revolución Industrial caracterizada por una fusión de tecnologías que están difuminando las líneas entre el entorno físico, digital y biológico (Schwag, 2026), ha instigado una transformación profunda que impacta en diversos ámbitos, transformando la forma en que interactuamos con la moneda, los activos digitales e incluso los servicios gubernamentales, entre otros aspectos. En este contexto, el dominio público no ha permanecido ajeno a estas transformaciones y ha abrazado la integración de blockchain a nivel mundial con una actitud proactiva, reconociendo su naturaleza innovadora y revolucionaria. La intrínseca trazabilidad de la cadena de bloques, así como la confiabilidad que infunde, emergen como atributos notorios que han impulsado su adopción, y, en consecuencia, el análisis de su potencial aplicación en nuevos servicios y en el empoderamiento de las funciones existentes en el sector público y, particularmente, en la educación para combatir los casos de fraude en la emisión de certificados, documentación y titulación oficial.

En términos generales la tecnología blockchain aplicada al sector público y educativo puede ser útil para: la descentralización del manejo de la información, la tokenización de activos, la transparencia en la administración de fondos, la participación ciudadana, la certificación de información ciudadana, entre otros.

Blockchain es un sistema descentralizado, que busca evitar los problemas de seguridad provenientes del exterior del sistema, como también los del interior. Su objetivo es hacer transparente y abierto el sistema para que múltiples ojos puedan auditar la información y el software que lo componen, evitando la manipulación arbitraria por parte de un organismo de control central que no beneficie a las otras partes involucradas en su funcionamiento. Su registro de datos es inmutable. Los datos no se pueden modificar, ni eliminar. Los bloques se van agregando constantemente al registro, utilizando el resumen digital de la información del bloque anterior.

En el caso particular de este trabajo, se presenta el análisis exhaustivo del uso de esta tecnología en el ámbito educativo, con su aplicación a la certificación de documentación universitaria tales certificados de asistencia o aprobación de cursos académicos, constancia de alumno regular o certificado de asistencia a exámenes. particularizado en el ámbito de la UTN FRT.

## MARCO TEÓRICO

Para analizar los beneficios de la aplicación de la tecnología blockchain en la certificación de documentación universitaria y sus posibles usos, se comenzará por describir las características y funcionamiento de la cadena de bloques, que no se limita solamente al ámbito de las criptomonedas, aunque haya sido este en el que cobró notoriedad a

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



partir del paper de Bitcoin, publicado en el año 2008.[1]

"*Una blockchain no es otra cosa que una base de datos que se halla distribuida entre diferentes participantes, protegida criptográficamente y organizada en bloques de transacciones relacionados entre sí matemáticamente. Expresado de forma más breve, es una base de datos descentralizada que no puede ser alterada.*" [2]

Una cadena de bloques es un archivo informático para almacenar datos, los cuales están distribuidos (es decir, duplicados) en muchos servidores, y toda esta cadena de bloques está totalmente descentralizada. Esto significa que ninguna persona o entidad tiene el control lo que supone un cambio radical con respecto a las bases de datos centralizadas que son controladas y administradas por empresas y otras entidades. Su funcionamiento se basa, en que el archivo se compone de bloques de datos, y cada bloque está conectado al anterior, formando una cadena, por eso el nombre de "cadena de bloques". Además de los datos en sí, cada bloque también contiene un registro de cuándo se creó o editó, lo que lo hace muy útil para mantener un sistema de registro detallado que no puede corromperse ni perderse.

Considerando estas características de su funcionamiento, la tecnología blockchain adquiere cualidades diferenciales, en comparación con otras tecnologías para el manejo seguro de la información, lo que permite tomar relevancia a la hora de analizar su implementación para la certificación de documentación universitaria, siendo la trazabilidad y auditoría, la descentralización y transparencia, la inmutabilidad, seguridad y resistencia a fallos son los puntos más destacados.

La criptografía desempeña un papel fundamental en la tecnología blockchain, asegurando la integridad de los datos almacenados en la cadena de bloques y la confidencialidad de la información intercambiada entre los nodos de la red. Para participar en esta red, es imprescindible contar con un juego de claves asimétricas válidas, las cuales también se denominan claves públicas y privadas y son necesarias para llevar a cabo operaciones en el blockchain específico.

Desde el punto de vista de la auditoría, la capacidad de trazabilidad se presenta como una cualidad muy importante. La tecnología blockchain posibilita seguir el recorrido a lo largo de la cadena de bloques y seguir el rastro de cada acción llevada a cabo en una dirección específica. También permite retroceder en el tiempo y examinar las transacciones ejecutadas en una fecha concreta, explorando todos los bloques generados en ese período señalado.

**Tipos de Blockchain**

Podemos diferenciar 3 tipos de blockchain generales: Públicas, Privadas o Permisionadas, y Federadas o Híbridas.

- Blockchain pública: es aquella a la que cualquier persona puede unirse y participar.
- Blockchain Privada o Permisionada: funciona de igual manera que la pública sólo que en este caso es gestionada por una red que controla quiénes pueden participar.
- Blockchain Federada o Híbrida: Es una combinación de una blockchain pública con una privada lo cual permite tener un mayor control de la privacidad en la validación de las transacciones. [3]

**Algoritmos de consenso**

Las redes blockchain utilizan diferentes algoritmos de consenso como mecanismos para lograr un acuerdo entre los nodos participantes sobre el estado actual de la cadena de bloques y la validación de nuevas transacciones. Entre los más importantes y utilizados, podemos mencionar:
Prueba de Autoridad (Proof of Authority - PoA): es un algoritmo de consenso basado en la reputación que introduce una solución práctica y eficiente para las redes de blockchain (especialmente las privadas). El término fue propuesto en 2017 por el cofundador de Ethereum y ex CTO Gavin Wood. El modelo Proof of Authority permite a las empresas mantener su privacidad mientras aprovechan los beneficios de la tecnología blockchain. Microsoft Azure es otro ejemplo donde se implementa el PoA [4].

Prueba de Trabajo (Proof of Work - PoW): El protocolo de Prueba de Trabajo - Proof of Work (PoW – Figura 1), es un protocolo de consenso antiguo y uno de los más conocidos, que nació mucho antes de Bitcoin en el año 1993 cuando comenzó a estudiarse hasta que fue nombrado finalmente en 1999 por Markus Jakobsson y Ari Juels:

*"Este es un protocolo en cual un comprobante demuestra aun verificador que ha gastado un cierto nivel de esfuerzo computacional en un intervalo de tiempo específico. Aunque no se definieron como tales ni se trataron formalmente, las pruebas de trabajo se han propuesto comoun mecanismo para varios objetivos de seguridad, incluidala medición del acceso al servidor, la construcción de cápsulas de tiempo digitales y la protección contra el envíode correo no deseado y otros ataques de denegación de servicio"* [5].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



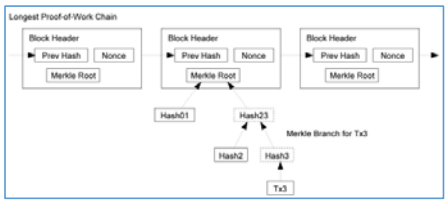



Figura 1. Proof-of-Work en Bitcoin, "Bitcoin P2P e-cash paper" - Fuente: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

Prueba de Participación (Proof of Stake - PoS): El algoritmo de consenso de Prueba de Participación o PoS (por sus siglas en inglés Proof of Stake) es un protocolo distribuido en la cadena de bloques que surgió en el año 2011, cuando fue presentada en el foro Bitcointalk. Lo que la PoS viene a mejorar respecto a la PoW, es la escalabilidady el excesivo consumo energético del mecanismo de consenso PoW, que alcanzó cifras alarmantes con el medioambiente una vez que la red de Bitcoin ganó popularidad y las transacciones se multiplicaron.

La autora Magdalena Cordero Valdavida afirma en su publicación “Blockchain en el sector público” (2019) [6] que uno de los campos en el que se pueden identificar de manera clara los beneficios de la tecnología de la cadena de bloques,es en el campo de la enseñanza. Esta afirmación deriva de los casos de falsificación de diplomas y documentación que se dan a nivel mundial, y de la facilidad con que éstos pueden ser duplicados o adulterados.

Ya existen casos de éxitos de estas implementaciones a nivel nacional como son el de la Universidad Provincial del Sudoeste (UPSO) quien fue la primera en utilizar blockchain para títulos y certificados; posteriormente también se implementó en la Universidad Católica de Salta (UCASAL - proyecto que comenzó a gestarse a finales del año 2020 terminando su implementación durante el año 2023), en la Universidad Nacional de Córdoba, la Universidad de Palermo, y se siguen desarrollando más proyectos de este tipo en Argentina, donde la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán también se encuentra en proceso de desarrollo de una plataforma que se pueda implementar a nivel facultad, que es donde se enmarca nuestro proyecto [7, 8].

Para resumir los beneficios de la tecnología blockchain para la emisión y validación de documentación en el ámbito educativo y universitario, podemos destacar que proporciona un método confiable para almacenar y respaldar documentos a largo plazo, evitando problemas de deterioro físico o pérdida de registros, como así también, reduce la posibilidad de documentos falsos o manipulados, lo que ayuda a prevenir fraudes académicos y a optimizar procesos y recursos.

Contemplando estos beneficios, y en consonancia con la tendencia mundial de investigación e implementación a nivel estatal de la tecnología blockchain (como es el caso dela Unión Europea) [9], el 5 de diciembre de 2022, la Secretaría de Innovación Pública de la Jefatura de Gabinete de Ministros de la República Argentina resolvió crear el Comité Nacional de Blockchain [10]. En el texto de decreto se reconoce que estas tecnologías *“se han erigido como una de las mayores innovaciones en el campo de las tecnologías de la información, brindando la posibilidad efectiva de optimizar los procesos del sector público y la trazabilidad, transparencia y eficiencia de los servicios que se prestan a la ciudadanía al registrar las transacciones con mayores niveles de seguridad”* [11].

## METODOLOGIA

La naturaleza de esta investigación es de carácter aplicado [12], dado que nuestra principal meta es abordar un problema preexistente en la comunidad universitaria de la UTN Facultad Regional Tucumán, por lo que el enfoque se sustenta en el desarrollo de un nueva plataforma para mejorar la calidad de los documentos que se producen y sirven a la comunidad educativa.

Como parte de los pasos generales que guían nuestra investigación y su desarrollo, podemos identificar los siguientes procedimientos:

1. Formulación del problema
2. Establecer los objetivos
3. Desarrollar un marco teórico
4. Recolectar datos
5. Desarrollar un prototipo
6. Obtener resultados

### Blockcerts (Blockchain Certificates)

Como parte del plan de trabajo del proyecto de investigación, se realizó un análisis e investigación de proyectos actuales de código abierto basado en la tecnología blockchain. Para esto se comenzó con Blockcerts (Blockchain Certificates – Figura 2).

*Blockcerts es un proyecto de código abierto que consiste en un sistema descentralizado de credenciales basado en la tecnología blockchain. Este proyecto permite emitir y verificar registros oficiales creados por una institución (BLOCKCERTS, 2016). Los certificados emitidos pueden ser registros cívicos, credenciales académicas, licencias profesionales, entre muchos más. En el año 2017 el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) en Estados Unidos inició un*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*programa piloto que mediante la aplicación de Blockcerts tiene como objetivo emitir diplomas o certificados universitarios usando una red Blockchain de Bitcoin y el cual sigue funcionando en la actualidad (Young, 2017). [13]*

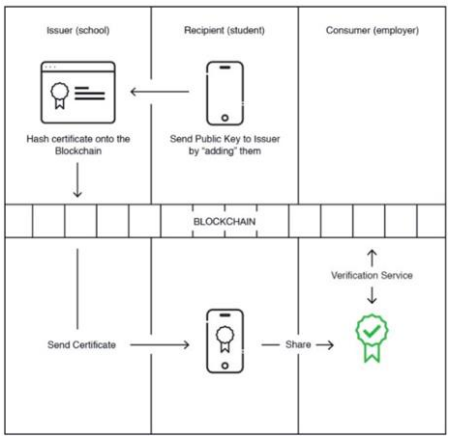



Figura 2. Proceso de expedición y validación de un certificado en blockchain - Fuente: Blockcerts. (2017). "The Open Standard for Blockchain, Certificates". As of 14 March 2017: http://www.blockcerts.org

Blockcerts provee un sistema descentralizado de credenciales. La red Blockchain funciona como un proveedor de confianza, verificando credenciales de forma segura. Puede ser usado en contextos académicos y profesionales para verificar la legalidad de un título o certificado. Por ejemplo, las universidades podrán emitir títulos o certificados a través de Blockcerts que podrían serverificados al instante cuando los estudiantes los utilicen para solicitar trabajo o continuar sus estudios en otras instituciones. Principales Características:

- Issuer: Las universidades crean certificados académicos digitales que contienen la información de una persona (sus logros, habilidades, características, notas, etc)y la registran en Blockchain.
- Certificate: Los certificados son insignias abiertas compatibles, lo cual es importante, porque hay toda una comunidad de emisores de "open badges" (son credenciales digitales que permiten a una persona demostrar habilidades, competencias, logros o conocimientos adquiridos en entornos educativos, laborales o comunitarios) que funcionan con Blockcerts, y por qué estos "open badges" se está convirtiendo en un estándar IMS.
- Verifier: Cualquiera puede verificar que el certificado no ha sido manipulado, que ha sido sellado por una institución particular para una persona específica.
- Wallet (billeteras): Los usuarios pueden guardar de formasegura sus certificados y compartirlos con otros (por ejemplo, empleadores o universidades). Actualmente solo está disponible el wallet para iOS.

El código de Blockcerts es libre, por lo cual cualquier persona puede desarrollar aplicaciones a partir de Blockcerts. [14]
Configurar las herramientas de Cert Tools para la creación de certificados y también Cert Issuer para la validación de los certificados.
Utilizando cert issuer (entidad o plataforma que tiene la autoridad para emitir certificados o insignias digitales – UTN FRT), la configuración inicial del issuer, poder juntar todos los datos necesarios para dar de alta un issuer, establecer una wallet con la testnet de GoerliETH, la cual es una red de pruebas para Ethereum, diseñada para desarrolladores y proyectos que desean probar sus contratos inteligentes, aplicaciones descentralizadas.

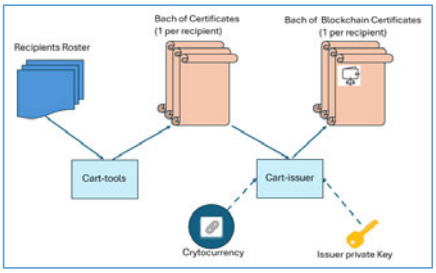



Figura3: Creación de certificados - Fuente: Propia

**Visualización y verificación de certificados**

En Blockcerts se han clonado el repositorio blockcerts-verifier, también se ha parametrizado la documentación para generar certificados propios de la UTN-FRT (Figura3). Se utiliza la biblioteca Javascript para la verificación de Blockcerts, la misma se puede utilizar en una aplicación Node.js o en un navegador. También se utiliza la biblioteca para blockcerts-verifier, la billetera Blockcerts para iOS y la billetera para Android.
El proceso para la emisión de un certificado consiste en los siguientes pasos:

1. Se crea un archivo digital que contiene información básica, como el nombre del destinatario, el nombre del emisor, una fecha de emisión, etc.
2. Se firma el contenido del certificado. utilizando una clave-privada a la que solo tiene acceso el emisor, y agrega esa firma al certificado en sí.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



3. Se crea un hash, que es una cadena corta que se puede usar para verificar que nadie haya manipulado el contenido del certificado.
4. Se usa la clave privada nuevamente para crear un registro en la cadena de bloques que indica que el emisor genera un determinado certificado a una determinada persona en una fecha determinada. El sistema permite verificar a quién se emitió un certificado, por quién, y validar el contenido del certificado en sí.




Figura 3: Modelo de la futura página Web de la UTN FRT donde se observa el acceso a la certificación digital - Fuente: Propia

## RESULTADOS

Hasta la fecha, se está trabajando en conjunto, un equipo compuesto por profesores, alumnos y graduados altamente motivados en el marco de un proyecto de investigación y desarrollo debidamente aprobado por resolución de la Universidad Tecnológica Nacional facultad Regional Tucumán, con el objetivo principal de contribuir de manera significativa a la mejora de los procesos de certificación de documentación.

Siguiendo rigurosamente el plan inicial, se avanza satisfactoriamente en el cumplimiento de los objetivos establecidos para este proyecto de Desarrollo e Innovación (PID). En este contexto, se logró concretar la construcción y validación del primer prototipo funcional. Este logro permite avanzar con las pruebas necesarias para evaluar su implementación en condiciones reales dentro de nuestra institución (ver figuras 4, 5, 6).




Figura 4: Proceso de carga de actas de Notas de exámenes - Fuente: Propia

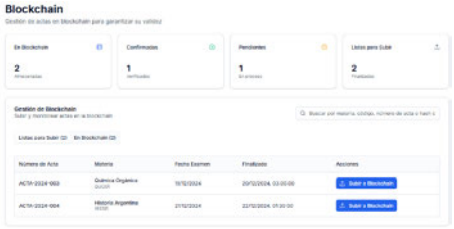



Figura 5: Proceso de almacenamiento en la blockchain de las diferentes actas cargadas Fuente: Propia

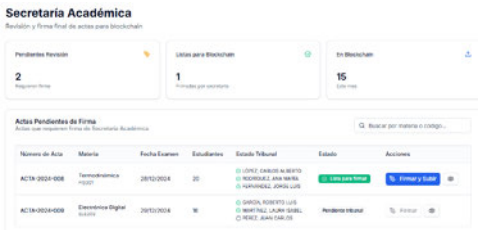



Figura 6: Interfaz para supervisión del personal de Secretaría Académica - Fuente: Propia

## CONCLUSIONES

En una primera instancia, se evidencia la consecución de los objetivos inicialmente propuestos consistentes en tener un prototipo funcional que se pueda probar en situaciones real de operación en el ámbito de la UTN FRT.

A través del desarrollo de estos objetivos, se establece que la tecnología blockchain se presenta como una solución viable para la gestión de certificados en el contexto universitario. Este respaldo se fundamenta en el prototipo de plataforma que se está desarrollando, el cual demuestra la capacidad de esta tecnología para crear, almacenar y validar certificados tanto individuales como colectivos.

En la actualidad, no existe una regulación que avale ni prohíba su empleo, y esta ausencia de normativas se debe, en gran medida, al desarrollo incipiente de esta tecnología en Argentina. A pesar de estas limitaciones, se concluye que la red de blockchain representa una alternativa sólida para la gestión de certificados, respaldada por el prototipo desarrollado a partir de la aplicación Blockcert. Este prototipo demuestra la factibilidad de crear, almacenar y validar certificados de instituciones educativas en dicha red. La tecnología blockchain continúa avanzando en su desarrollo, y en este sentido, el proyecto de implementación de Blockcert busca expandir su aplicabilidad a diversas redes blockchain en el futuro.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## REFERENCIAS

[1] Nakamoto, S (2008) *"Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System"* Disponible en: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

[2] Preukschat, A. Coordinador (2019). *"La revolución industrial de internet"*. Valletta Ediciones, Barcelona, España, pp 23.

[3] Cámara de Valencia (2023). ¿Qué significa blockchain híbrida o federada? Accedido en Agosto 2023. Disponible en:

https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/que-significa-blockchain-hibrida-o-federada/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20blockchain%20h%C3%ADbrida%20o,tienen%20permiso%20para%20validar%20transacciones

[4] Binance Academy (2018). "*Proof of Authority"*. Accedido en Septiembre 2023. Disponible en: https://academy.binance.com/es/articles/proof-of-authority- explained

[5] Bitcoin Org (2023). "*Bitcoin para Personas"*. Accedido en Septiembre 2023. Disponible en: https://bitcoin.org/es/

[6] Cordero Valdavida, M (2019) "Blockchain en el sector público, una perspectiva internacional". Revista Vasca de gestión de personas y organizaciones públicas. Núm 16. pp 24. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6945314

[7] Universidad Provincial Sudoeste (2023). *"Títulos yCertificados en Blockchain"*. Accedido en Agosto 2023. Disponible en: https://certificadosblockchain.upso.edu.ar/

[8] UCASAL (2023). "*UCASAL avanza en la seguridad digital: el sistema blockchain que mejora la gestión universitaria"*. Disponible en: https://www.ucasal.edu.ar/noticias/noticias-home/ucasal-avanza-en-la-seguridad-digital-el-sistema-blockchain-que-mejora-la-gestion-universitaria

[9] European Commission and the European Blockchain Partnership (2023). *"Experience cross-borders services with EBSI. The first public sector blockchain services in Europe"* Disponible en: https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/wikis/display/EBSI/Home

[10] Infobae (2022). *"El Gobierno creó un comité nacional deBlockchain: cuál será su objetivo"*. Disponible en: https://www.infobae.com/economia/2022/12/07/el-gobierno- creo-un-comite-nacional-de-blockchain-cual-sera-sus-objetivo/#:~:text=La%20Resoluci%C3%B3n%20establece%20que%20el,el%20%C3%A1mbito%20de%20sus%20acciones%E2%80%9D&text=Por%20medio%20de%20la%20Resoluci%C3%B3n,del%20comit%C3%A9%20nacional%20de%20Blockchain.

[11] JEFATURA DE GABINETE DE MINISTROS SECRETARÍA DE INNOVACIÓN PÚBLICA. (2022). Legislación y Avisos Oficiales. Accedido en Agosto 2023. Disponible en:

https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/277417/2 0221207

[12] Tesis y másters (2023) ¿Qué es la investigación aplicada? Disponible en: https://tesisymasters.mx/investigacion-aplicada/

[13] Parra Candia, R. A (2020) "Análisis de las capacidades y limitaciones de la tecnología de Blockchain como herramienta para la gestión de certificados institucionales." Proyecto de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Informático. Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3721/1/Parra_Candia_Ramon_Alejandro.pdf

[14] Media Lab Learning Initiative (2016) "Blockcerts — An Open Infrastructure for Academic Credentials on the Blockchain" [online] Disponible en: https://medium.com/mit-media-lab/blockcerts-an-open-infrastructure-for-academic-credentials-on-the-blockchain-899a6b880b2f#.q66dazia7

[15] IBM (2023). El éxito de la blockchain empieza aquí. Accedido en Agosto 2023. Disponible en: https://www.ibm.com/es- es/topics/blockchain

[16] Blockchain Federal Argentina https://bfa.ar/blockchain/casos-de-uso/titulos-academicos

[17] Bartolomé, A., & Lindín, C. (2019). Posibilidades del Blockchain en Educación. Education in the Knowledge Society (EKS), 19(4), 81–93.

https://doi.org/10.14201/eks20181948193

[18] Blockcerts. (2023). About Blockcerts. Accedido en Septiembre 2023. Disponible en: https://www.blockcerts.org/about.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema Integral de Detección Temprana y prevención de Gases Tóxicos con Notificación Inteligente y Comando Remoto

**Ing. Elvio Nicolás Oliva Saccenti – Universidad Tecnológica Nacional**
**Facultad Regional Villa María – noliva@frvm.utn.edu.ar,**

**Ing. Mauricio Carlos Manoni Montuori, Universidad Tecnológica Nacional**
**Facultad Regional Córdoba - mcmanonimontuori@posgrado.frc.utn.edu.ar,**

**Ing. Norberto Gaspar Cena – Universidad Tecnológica Nacional**
**Facultad Regional Villa María – ngcena@frvm.utn.edu.ar**

***Resumen***

*La acumulación de gases inflamables y tóxicos en espacios cerrados, como el metano ($CH_4$) provocado por fugas de gas natural y el monóxido de carbono (CO) generado por procesos de combustión incompleta (de artefactos domésticos con gas, leña, kerosene, etc.), presenta riesgos críticos para la salud y seguridad en entornos residenciales, comerciales e institucionales. El CO es particularmente peligroso: inodoro, incoloro, y puede causar intoxicaciones severas incluso sin que las personas adviertan su presencia.*

*A nivel internacional, estudios como el Global Burden of Disease Study 2021 muestran que las muertes globales por intoxicaciones accidentales no intencionales de monóxido de carbono ascienden a unas 28.900 muertes en 2021, con una tasa estandarizada de alrededor de 0,35-0,37 muertes por cada 100.000 habitantes. Estas cifras reflejan una caída significativa en las décadas pasadas, pero persiste una prevalencia importante en regiones vulnerables (inviernos fríos, mala ventilación, falta de detectores).*

*En Argentina los datos oficiales refuerzan la gravedad del problema: entre 2019 y 2024 se confirmaron aproximadamente 6.706 casos de intoxicación por CO, con 38 muertes notificadas en ese mismo lapso. En lo que va de 2025 (hasta la última semana de junio) ya se registraron 473 casos confirmados, lo que supone un aumento del 57 % respecto de la mediana de los años 2020-2024.*

*Este trabajo presenta un sistema integral de detección temprana que combina sensores electrónicos para CO, $CH_4$, temperatura y humedad, con conectividad inalámbrica, notificaciones multicanal (alarma local, notificaciones push, llamadas automáticas con geolocalización), y un módulo de corte remoto del suministro de gas en casos críticos. Además, incorpora una arquitectura multiusuario para permitir intervención no solo del usuario individual sino también de autoridades sanitarias, proveedores de servicio y empresas distribuidoras, facilitando monitoreo en tiempo real y análisis de tendencias históricas.*

*Los datos preliminares obtenidos en escenarios simulados y con comparativas nacionales muestran que tal sistema podría acortar significativamente los tiempos de reacción frente a intoxicaciones, además de aumentar la visibilidad del riesgo en comunidades vulnerables (hogares con artefactos antiguos, ventilación inadecuada, población joven). Las estadísticas actuales demuestran que el CO es un problema prevenible: con una tecnología adecuada, mantenimiento de artefactos y alertas redundantes, se puede reducir la mortalidad y morbilidad asociadas en Argentina.* ***[1][2]***

***Abstract***

*The accumulation of flammable and toxic gases in enclosed spaces, such as methane ($CH_4$) from natural gas leaks and carbon monoxide (CO) generated by incomplete combustion processes (from domestic gas appliances, wood, kerosene, etc.), poses critical health and safety risks in residential, commercial, and institutional environments. CO is particularly dangerous: it is odorless, colorless, and can cause severe poisoning even without people being aware of its presence.*

*At the international level, studies such as the Global Burden of Disease Study 2021 indicate that global deaths from unintentional accidental carbon monoxide poisoning reached approximately 28,900 in 2021, with an age-standardized rate of around 0.35–0.37 deaths per 100,000 inhabitants. These figures reflect a significant decline over past decades, but a substantial prevalence persists in vulnerable regions (cold winters, poor ventilation, lack of detectors).*

*In Argentina, official data underscore the seriousness of the problem: between 2019 and 2024, approximately*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*6,706 cases of CO poisoning were confirmed, with 38 deaths reported in the same period. In 2025 alone (up to the last week of June), 473 confirmed cases have already been recorded, representing a 57% increase compared to the median of 2020–2024. Regarding the source of exposure, about 65% of cases occur at home, often due to heaters, brazier stoves, or cooking appliances using fuel in poorly ventilated environments.*

*This work presents an integrated early detection system that combines electronic sensors for CO, $CH_4$, temperature, and humidity with wireless connectivity, multi-channel notifications (local alarm, push notifications, automatic calls with geolocation), and a remote gas supply cutoff module for critical cases. Additionally, it incorporates a multi-user architecture to allow intervention not only by individual users but also by health authorities, service providers, and utility ompanies, facilitating real-time monitoring and historical trend analysis.*

*Preliminary data obtained in simulated scenarios and national comparisons show that such a system could significantly reduce reaction times to poisoning incidents while increasing risk visibility in vulnerable communities (households with old appliances, inadequate ventilation, young populations). Current statistics demonstrate that CO is a preventable problem: with appropriate technology, appliance maintenance, and redundant alerts, associated mortality and morbidity in Argentina can be reduced* ***[1][2]****.*

**Palabras Claves:** Seguridad, IoT, Monóxido de Carbono, Metano, Sensores Inteligentes, Prevención de Riesgos. Tecnologias de Información.

## Introducción

La seguridad en entornos que utilizan gases inflamables y tóxicos representa un desafío crítico a nivel mundial, especialmente en contextos residenciales, comerciales e institucionales. Entre los gases de mayor riesgo se encuentran el monóxido de carbono (CO) y el metano ($CH_4$). El CO es un gas incoloro, inodoro e insípido, producto de combustiones incompletas, cuya acumulación puede pasar desapercibida, provocando síntomas graves como mareos, náuseas, pérdida de consciencia y, en casos extremos, la muerte. Por su parte, el metano, aunque no es tóxico, es altamente inflamable y su acumulación en espacios cerrados puede originar explosiones de gran magnitud.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la intoxicación por CO provoca más de 100.000 emergencias médicas anuales, muchas de ellas en entornos domésticos mal ventilados. De manera similar, en Latinoamérica, los accidentes por fugas de gas natural han generado pérdidas humanas y daños materiales significativos en la última década, exacerbados por infraestructura obsoleta, instalaciones defectuosas y falta de mantenimiento preventivo. Estos incidentes evidencian la necesidad de sistemas de monitoreo avanzados que permitan la detección temprana y la acción inmediata frente a situaciones de riesgo.

Actualmente, el mercado ofrece detectores de gases que proporcionan alertas locales o, en algunos casos, notificaciones móviles básicas. Sin embargo, estos dispositivos presentan limitaciones importantes: dependen de un único canal de alerta, carecen de mecanismos de corte remoto del suministro de gas y, en general, están diseñados para un único usuario, sin capacidad de integración con proveedores de servicios o entidades reguladoras. Además, el registro histórico de eventos suele limitarse a la memoria local del dispositivo, desaprovechando su potencial para análisis preventivo y planificación estratégica. **[3]**

En este contexto, la presente investigación propone un sistema integral de detección temprana de gases tóxicos e inflamables, que combina sensores multisectoriales con conectividad inalámbrica segura, notificaciones multicanal y control remoto del suministro de gas. La innovación principal radica en la integración de múltiples funcionalidades en una única plataforma: alarmas locales sonoras y visuales, notificaciones push, llamadas telefónicas automáticas con mensaje de voz y geolocalización, corte remoto del suministro mediante electroválvulas y registro centralizado de eventos. Esta arquitectura multiusuario permite la interacción coordinada entre usuarios

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



finales, proveedores de servicios y empresas distribuidoras de gas, promoviendo un enfoque preventivo y colaborativo en la gestión de riesgos.

El sistema propuesto se inspira conceptualmente en la analogía con los tableros eléctricos y disyuntores: así como estos previenen accidentes por fallas eléctricas, el sistema actúa de forma proactiva ante la presencia de gases peligrosos, reduciendo la probabilidad de intoxicaciones y explosiones, además de agregar la capa de inteligencia y conectividad. La plataforma digital centralizada no solo permite la supervisión en tiempo real, sino también la generación de mapas de riesgo, análisis histórico de incidentes y la implementación de estrategias preventivas basadas en datos concretos.

En resumen, este trabajo busca aportar una solución tecnológica robusta, escalable y socialmente relevante, capaz de mejorar los estándares de seguridad en hogares, comercios e instituciones, ofreciendo una herramienta que va más allá de la simple detección, incorporando notificación redundante, acción remota y análisis de datos para la prevención proactiva de accidentes por gases.

**Elementos de Trabajo y Metodología**
La implementación del sistema integral de detección temprana de gases tóxicos e inflamables se sustentó en una combinación de elementos físicos, electrónicos y software, así como en una metodología estructurada orientada a garantizar la confiabilidad, escalabilidad y efectividad en entornos residenciales, comerciales e institucionales.

**Elementos de trabajo**

**Dispositivo electrónico**
El dispositivo central del sistema fue diseñado con un enfoque modular y robusto, integrando los siguientes sensores:

- Sensor electroquímico de CO: capaz de detectar concentraciones entre 0 y 1.000 ppm con tiempo de respuesta menor a 30 segundos. Este sensor asegura la detección temprana de niveles peligrosos de monóxido de carbono en espacios cerrados.

- Sensor MOS de metano ($CH_4$): rango de detección de 500 a 10.000 ppm, con sensibilidad ajustable para ambientes residenciales e industriales.

- Sensor digital de temperatura y humedad: rango de medición de –40 a 80 °C (±0,5 °C) y humedad relativa de 0–100 % (±2–5 %). Este sensor contextualiza las mediciones de gases, permitiendo correlaciones con condiciones ambientales que pueden favorecer la acumulación de CO o $CH_4$.

Todos los sensores se integraron en un microcontrolador de doble núcleo a 240 MHz, con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, múltiples puertos GPIO y soporte para protocolos I2C y UART. La elección de estos componentes se justificó por su bajo consumo, capacidad de procesamiento y compatibilidad con plataformas IoT. La electrónica fue encapsulada en una carcasa de ABS retardante al fuego, garantizando protección mecánica y térmica adecuada.

**Actuadores y alertas locales**
El sistema incorporó actuadores para el corte remoto del suministro de gas mediante electroválvula controlada por relé electromecánico. Además, se incluyeron:

- Buzzer piezoeléctrico de 85 dB para alertas sonoras locales.

- LEDs intermitentes de alta luminosidad diferenciados para CO y $CH_4$, reforzando la señalización visual de eventos críticos.

- Pantalla digital (display) para la visualización en tiempo real de concentraciones de gases y estado operativo del dispositivo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Plataforma digital centralizada**
La arquitectura del sistema incluye un servidor de aplicación que gestiona los eventos de detección y proporciona:

- Registro histórico de alertas y concentraciones de gases.
- Monitoreo en tiempo real de dispositivos distribuidos.
- Gestión de usuarios con roles diferenciados (usuario final, técnico, empresa distribuidora).
- Servicios de notificación multicanal: push en aplicaciones móviles y llamadas automáticas con mensaje de voz y geolocalización, utilizando servicios de text-to-speech.

**Metodología de desarrollo**
El desarrollo del sistema se organizó en las siguientes fases:

**Análisis de requerimientos y revisión de tecnologías actuales**
Se evaluaron las limitaciones de los detectores comerciales existentes y se identificaron los vacíos tecnológicos en términos de redundancia de alertas, control remoto y análisis histórico de eventos. Esta fase incluyó la revisión de normativas de seguridad industrial y recomendaciones de organismos oficiales como ENARGAS.

**Implementación del dispositivo electrónico**
Se seleccionaron los sensores y microcontroladores adecuados, asegurando compatibilidad con protocolos IoT y bajo consumo energético. Se diseñó la disposición física y electrónica, optimizando la ubicación de los sensores y actuadores para garantizar la detección temprana y la efectividad de las alertas locales. Además, se desarrolló el firmware del dispositivo, encargado de la adquisición y procesamiento de datos, la gestión de umbrales de seguridad y la comunicación inalámbrica segura con la plataforma central **(Véase figura 1 y 5)**.

**Implementación de la plataforma digital y comunicación segura**
El desarrollo de la plataforma digital se estructuró bajo una arquitectura de microservicios **(Véase figura 2)**, lo que permitió garantizar escalabilidad, resiliencia y facilidad de mantenimiento. El backend fue implementado en Java con Spring Boot, aprovechando sus capacidades de modularización, seguridad integrada y soporte para servicios RESTful, lo que facilitó la comunicación entre componentes y la integración con dispositivos IoT mediante protocolos seguros (HTTPS/TLS y MQTT/TLS). Para el frontend se utilizó Angular, framework que posibilitó la construcción de una interfaz web dinámica, responsiva e intuitiva, orientada a la visualización en tiempo real de datos, gestión de usuarios y control remoto de los dispositivos. Como soporte de persistencia, se optó por una base de datos relacional, encargada de almacenar de forma estructurada tanto los registros históricos de concentraciones de gases como las acciones de respuesta ejecutadas (notificaciones, cortes remotos) **(Véase figuras 3 y 4)**. Esta combinación tecnológica permitió materializar un ecosistema de software robusto y confiable, capaz de integrar en una misma plataforma la detección temprana, la notificación multicanal y la trazabilidad de eventos críticos **(Véase figura 6)**.

**Integración y pruebas funcionales**
El dispositivo fue integrado con la plataforma digital y sometido a pruebas en entornos simulados que replicaban escenarios residenciales, comerciales e institucionales. Se evaluó la respuesta de los sensores, la activación de alertas y el control remoto del suministro de gas, así como la latencia en la transmisión de eventos y la redundancia de notificaciones.

**Validación y análisis de resultados**
Se analizaron los datos obtenidos durante las pruebas, evaluando la precisión de los sensores, la efectividad de las alertas multicanal, la capacidad de corte remoto y la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



escalabilidad del sistema. Los resultados permitieron corroborar que el sistema cumple con los objetivos de prevención de riesgos y proporciona una solución integral frente a incidentes por gases tóxicos e inflamables.

**Consideraciones metodológicas**

El enfoque metodológico adoptado priorizó la detección temprana, la redundancia de comunicación y la acción remota. Cada etapa de desarrollo estuvo orientada a garantizar que el sistema operara de manera autónoma frente a fallos de conectividad o ausencia de supervisión humana, integrando alertas locales inmediatas con notificaciones remotas y registro centralizado de eventos para la generación automática de planes de prevención.

## Resultados

La validación del Sistema Integral de Detección Temprana de Gases Tóxicos se llevó a cabo en entornos residenciales simulados, bajo condiciones controladas de laboratorio, con el objetivo de evaluar la eficiencia del dispositivo y la plataforma digital desde la detección inicial de gases hasta la generación de planes preventivos basados en datos históricos.

**Instalación y configuración inicial**

El dispositivo se ubicó estratégicamente en cocinas y salas de calderas, áreas con mayor riesgo de acumulación de gases inflamables y tóxicos. La configuración inicial incluyó:

- Definición de umbrales críticos: CO > 50 ppm, $CH_4$ > 1.000 ppm (según normativas de seguridad doméstica). **[4] [5].**
- Registro de contactos de emergencia, incluyendo familiares, vecinos y técnicos autorizados.
- Definición de la ubicación geográfica mediante APIs de geolocalización.
- Configuración de conectividad Wi-Fi, con almacenamiento local de eventos en caso de fallos de red.

Esta configuración asegura monitoreo continuo y autónomo, procesando datos localmente y manteniendo comunicación segura con la plataforma central.

**Detección temprana y procesamiento local**

El núcleo del dispositivo, un microcontrolador recibe datos de tres sensores principales:

- Sensor electroquímico de CO: (rango 0–1.000 ppm).
- Sensor MOS de $CH_4$: (rango 500–10.000 ppm).
- Sensor digital de temperatura y humedad: (rango –40 a 80 °C, ±0.5 °C), contextualiza las lecturas de gas.

El procesamiento local de la información juega un papel crucial en la seguridad de la vivienda. Este sistema permite comparar continuamente los datos recopilados con umbrales críticos previamente establecidos, lo que posibilita la activación inmediata de alertas en caso de detectar una situación de riesgo. Además, la respuesta no se limita a la notificación digital: el sistema puede activar de manera local un buzzer de 85 dB y encender LEDs intermitentes, asegurando que los ocupantes reciban una advertencia directa y clara, incluso si no están atentos a otros medios de comunicación.

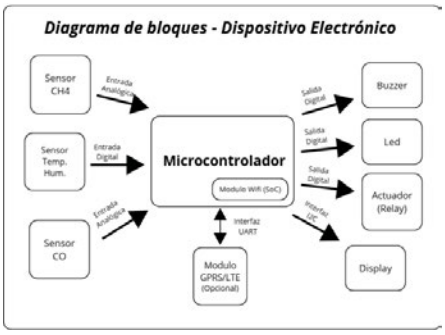



**Figura 1.** Arquitectura del dispositivo de detección de gases.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Comunicación y notificación multicanal**
Tras la detección de riesgo, el dispositivo transmite un evento crítico al servidor central mediante HTTPS sobre TLS, asegurando seguridad de la información. La plataforma digital procesa simultáneamente la información y ejecuta:

- Notificación push a dispositivos móviles: incluye tipo de gas, nivel de concentración, ubicación y hora del evento.
- Llamadas automáticas con mensaje de voz (Text-to-Speech): se envían a todos los contactos predefinidos, asegurando redundancia y efectividad de la alerta.
- Alerta local adicional: buzzer y LEDs permanecen activos hasta que el usuario confirma la acción de corte remoto.

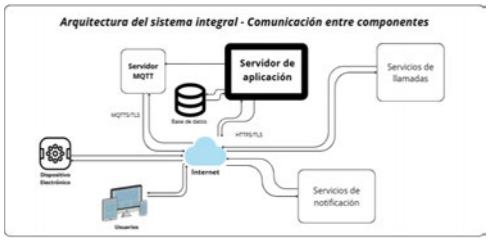



**Figura 2.** Arquitectura de la plataforma de software

**Registro centralizado y gestión de eventos**
Todos los eventos se almacenan en una base de datos relacional central, accesible por usuarios y técnicos autorizados. La información registrada incluye:

- ID del dispositivo.
- Tipo y nivel de gas detectado.
- Fecha, hora y ubicación.
- Estado de activación de alertas locales y remotas.
- Acciones ejecutadas (corte remoto, confirmación del usuario, etc.).

El registro histórico de incidentes y datos relacionados con la vivienda desempeña un papel fundamental en la prevención y gestión de riesgos. Gracias a este registro, es posible realizar análisis de tendencias que permiten identificar patrones de riesgo, facilitando la anticipación de situaciones peligrosas. Además, los datos recopilados permiten elaborar mapas geoespaciales de peligros, herramienta esencial para la planificación preventiva y la toma de decisiones estratégicas. Por último, el registro histórico posibilita evaluar la efectividad de las alertas emitidas, midiendo con precisión los tiempos de respuesta desde la detección del riesgo hasta la notificación a los usuarios, lo que contribuye a mejorar continuamente los protocolos de seguridad **[6]** .

**Control remoto y acciones preventivas**
El control remoto del suministro de gas, mediante actuador de relé conectado a electroválvula, permite:

- Corte inmediato del suministro por usuario o técnicos autorizados.
- Confirmación en tiempo real de la acción ejecutada.
- Registro automático de la intervención para trazabilidad y cumplimiento de protocolos de seguridad.

**Planificación preventiva basada en datos**
La información centralizada permite generar estrategias de prevención a largo plazo:

- Identificación de puntos críticos de acumulación de gas y ajuste de ubicación de sensores.
- Programación de mantenimiento preventivo basado en alertas recurrentes.
- Integración con proveedores de servicios, facilitando inspecciones proactivas.

**Escenario de funcionamiento del dispositivo**
Durante las pruebas en ambientes controlados, el dispositivo respondió de manera inmediata ante concentraciones peligrosas simuladas de CO y $CH_4$, activando de forma automática las alertas multicanal previamente configuradas. Estas incluyeron la señal sonora y visual local, notificaciones móviles en tiempo real y llamadas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



automáticas a los contactos definidos, garantizando redundancia en la comunicación.

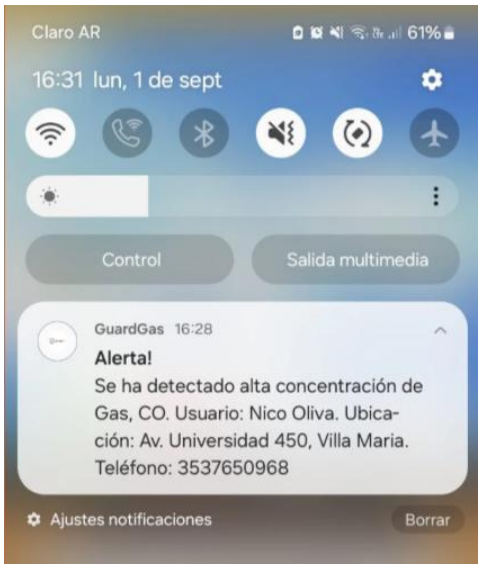



**Figura 3.** Notificación Push enviada a contactos de emergencia.

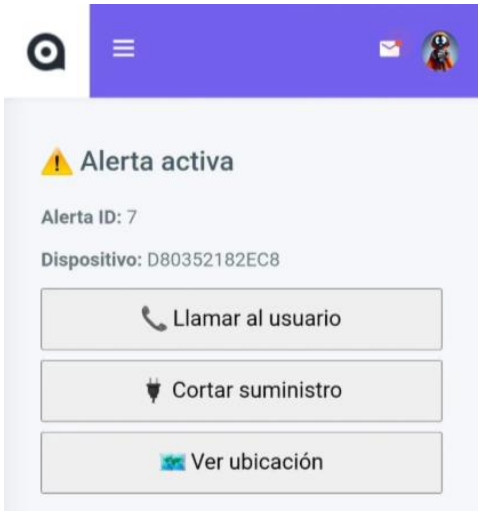



**Figura 4.** Opciones de la aplicación mobile a partir de la notificación que reciben los contactos de emergencia.

Paralelamente, todas las acciones fueron registradas en la plataforma digital central, lo que permitió verificar tanto la trazabilidad de los eventos como la efectividad de cada canal de alerta. Asimismo, se comprobó el correcto funcionamiento del mecanismo de corte remoto del suministro de gas, validando su capacidad para actuar de forma segura y confiable en escenarios críticos.




**Figura 5.** Prototipo funcional en entorno residencial controlado

**Conclusiones del escenario residencial**

El escenario residencial, desarrollado en un ambiente controlado, permitió demostrar de manera clara la eficacia del sistema en la gestión integral de la seguridad del hogar. Gracias a la detección temprana, se pudo identificar niveles de gas peligrosos antes de que alcanzaran umbrales críticos, lo que facilitó una respuesta rápida y la reducción de riesgos potenciales. La redundancia de notificaciones aseguró que las alertas llegaran por múltiples canales, garantizando que los ocupantes recibieran la información de manera confiable.

El registro centralizado y la trazabilidad de las acciones demostraron ser herramientas valiosas, no solo para la planificación preventiva, sino también para la integración con proveedores de servicios y el análisis histórico de incidentes, aportando un componente estratégico adicional. Asimismo, la capacidad de corte remoto constituyó una medida activa de protección, elevando de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



forma significativa los estándares de seguridad residencial.

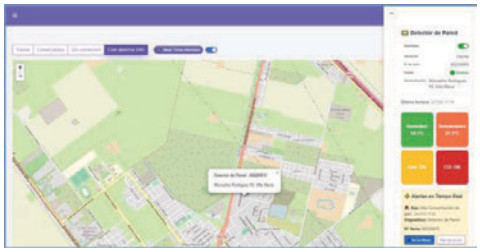


**Figura 6.** Plataforma Web para la gestión integral de planes de prevención.

En conclusión, los resultados obtenidos en este ambiente controlado validan que el sistema ofrece un enfoque completo de gestión de información y prevención, cubriendo desde la detección inicial hasta la planificación estratégica, y posicionándose como un modelo superior frente a los detectores comerciales tradicionales.

**Discusión**

Los resultados obtenidos en los escenarios residenciales controlados demuestran que el Sistema Integral de Detección Temprana y Prevención de Gases Tóxicos con Notificación Intelligente y Comando Remoto proporciona una solución robusta y eficiente frente a riesgos críticos de CO y $CH_4$ en entornos domésticos, comerciales e institucionales. La integración de sensores multisectoriales, procesamiento local de datos y notificaciones multicanal permite una detección temprana confiable, asegurando que los ocupantes sean alertados de manera inmediata y efectiva, incluso si no están monitoreando activamente el dispositivo.

La redundancia en las alertas, combinada con el registro centralizado de eventos y la trazabilidad de acciones, ofrece una base sólida para la planificación preventiva y la toma de decisiones estratégicas. Esta arquitectura multiusuario permite que no solo el usuario final, sino también autoridades sanitarias, proveedores de servicios y empresas distribuidoras puedan intervenir oportunamente, lo que refuerza la capacidad de respuesta ante incidentes y contribuye a la reducción de riesgos en comunidades vulnerables.

Si bien las pruebas se realizaron en un ambiente controlado, los resultados sugieren que el sistema tiene un alto potencial de efectividad en escenarios reales, donde factores como variabilidad ambiental, distintos tipos de artefactos y comportamiento humano pueden influir en la acumulación de gases y en la respuesta del sistema.

Adicionalmente, el registro histórico centralizado de datos ofrece la posibilidad de incorporar técnicas de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático para análisis masivo de información. Con estas herramientas, sería posible identificar patrones de comportamiento, correlaciones entre factores ambientales y eventos críticos, y prever zonas de riesgo antes de que ocurra un incidente. Esta capacidad abre oportunidades en ámbitos como salud pública, donde se podrían diseñar campañas de prevención basadas en datos reales, así como en planificación urbana y estrategias de seguridad residencial.

En este sentido, el sistema no solo funciona como un detector activo de gases, sino como una plataforma de análisis predictivo y prevención, con potencial de integración con otros sistemas de monitoreo ambiental y de seguridad, constituyendo un aporte significativo más allá de la protección individual del hogar.

**Conclusión**

El Sistema descripto en este trabajo, validado en escenarios residenciales controlados, demuestra que es posible gestionar de manera integral la seguridad frente a CO y $CH_4$, desde la detección temprana hasta la planificación preventiva. La combinación de sensores electrónicos, alertas locales y remotas, registro centralizado y control remoto del suministro de gas constituye un enfoque superior frente a los detectores comerciales

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tradicionales, ofreciendo una solución más segura y confiable.

El análisis de eventos históricos y la trazabilidad de acciones proporcionan herramientas valiosas para la generación de estrategias preventivas, mantenimiento proactivo y coordinación con autoridades y proveedores de servicios. La redundancia de notificaciones y la capacidad de corte remoto del suministro de gas refuerzan la seguridad activa, asegurando que la respuesta ante incidentes sea rápida y efectiva.

La integración potencial de inteligencia artificial para el análisis masivo de datos permite expandir el impacto del sistema hacia ámbitos de salud pública, seguridad comunitaria y prevención estratégica. Mediante el aprendizaje de patrones de comportamiento y la identificación de zonas críticas de riesgo, el sistema podría servir como base para programas predictivos de intervención, campañas educativas y optimización de recursos, fortaleciendo la prevención más allá del hogar individual.

En definitiva, los hallazgos respaldan que la propuesta constituye un modelo escalable, innovador y socialmente relevante, capaz de mejorar los estándares de seguridad en entornos residenciales, comerciales e institucionales, estableciendo un referente en la prevención proactiva de accidentes por gases inflamables y tóxicos.

**Referencias**

[1] National Library of Medicine - National Center for Biotechnology Information. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10602911.
[2] Ministerio de Salud de la Nación, Boletín Epidemiológico Nacional, 2025.
[3] World Health Organization - https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-%28outdoor%29-air-quality-and-health. Año 2024.
[4] Aparato eléctrico para la detección de monóxido de carbono en los locales de uso doméstico. Año 2024. https://www.enargas.gob.ar/secciones/normativa/pdf/normas-tecnicas/NAG-204.pdf
[5] Aparato eléctrico para la detección de gas natural o gas licuado de petróleo en los locales de uso doméstico Año 2024. https://www.enargas.gob.ar/secciones/normativa/pdf/normas-tecnicas/NAG-205.pdf.
[6] Guía de ciberseguridad de dispositivos IoT - https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/213/final

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





# Presentación de una Plataforma Tecnológica para el Análisis Cienciométrico y la Gestión de Congreso en CoNaIISI

Roberto Miguel Muñoz, Analía Guzmán, Martín Gustavo Casatti.
{rmunoz, aguzman, mcasatti}@frc.utn.edu.ar

*CIDS-Centro de Investigación, Transferencia y Desarrollo de Sistemas de Información*
*Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información*
*Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional*
*Maestro Marcelo López esq. Cruz Roja Argentina – Córdoba 0351 – 4686385*

**Resumen**—Se presenta una plataforma tecnológica integrada para fortalecer el análisis cienciométrico y optimizar la gestión del Congreso Nacional de Ingeniería en Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI). La solución combina dos herramientas complementarias: Congressity, que gestiona de forma integral el proceso de organización del congreso, y Scarif, orientada al análisis y visualización de la producción científica. Congressity automatiza todo el ciclo de vida de los artículos —desde el envío y evaluación hasta la aceptación y publicación— garantizando trazabilidad completa y generando metadatos estructurados y consistentes. Esta información alimenta de forma continua una base de datos cienciométrica construida a partir de los artículos aprobados por docentes y estudiantes en distintas ediciones del congreso. Scarif procesa y representa dichos datos mediante grafos y métricas cienciométricas, posibilitando el mapeo de intereses de investigación, la detección de áreas emergentes, y el análisis de redes de colaboración entre autores e instituciones. La integración de ambos sistemas convierte a la plataforma en una herramienta estratégica para obtener análisis más oportunos, precisos y representativos de la producción científica presentada en el CoNaIISI, contribuyendo a la planificación, la toma de decisiones y el fortalecimiento de la comunidad científica.

**Palabras clave**—mapeo, producción científica, geolocalización, grafos

## 1. Introducción

### 1.1. Contexto

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación y desarrollo que ha sido homologado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, desarrollado en el ámbito del CIDS – Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Informacióny el Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Córdoba (FRC)de la Universidad Tecnológica Nacional, titulado ‘‘Análisis y mapeo de relaciones de intereses y proyectos, entre artículos de docentes y estudiantes, en temáticas del Congreso Nacional de Ingeniería en Informática/Sistemas de Información’’. Dicho proyecto, tiene como objetivo analizar las relaciones entre los proyectos e intereses plasmados en artículos de investigación elaborados por docentes, con respecto a los elaborados por estudiantes, en temáticas del Congreso Nacional de Ingeniería en Informática/Sistemas de Información (CoNaIISI) de la Red de Ingeniería en Informática e Ingeniería en Sistemas de Información (RIISIC) [1].

Para cumplir con los objetivos del proyecto, el equipo de trabajo fué construyendo una base de datos cienciométrica a partir de los artículos aprobados de docentes investigadores y de estudiantes en diferentes ediciones del (CoNaIISI). Dicha construcción requirió el diseño de la base de datos cienciométrica, la elección de la estrategia para extraer los datos de los artículos científicos, su procesamiento y su grabación en la base de datos de grafos con información de los artículos aprobados [2, 3, 4]. Adicionalmente, se diseñó e implementó el software necesario para visualizar los datos de la base de datos cienciométrica, junto con un sistema de gestión de congresos llamado Congressity.

El objetivo del presente trabajo es presentar la propuesta de la plataforma tecnológica para el análisis y mapeo de intereses de investigación, a partir de los artículos aprobados de docentes y estudiantes en distintas ediciones del CoNaIISI.

El trabajo se organiza de la siguiente manera: la Sección 1 presenta el contexto del trabajo y un breve marco teórico. La Sección 2 detalla las metodologías empleadas en el desarrollo de la plataforma, incluyendo su diseño y las tecnologías utilizadas. La Sección 3 presenta los resultados actuales y las funcionalidades de Scarif y Congressity. Finalmente, la Sección 4 ofrece las conclusiones y describe los trabajos futuros.

### 1.2. Marco teórico

La investigación científica en Argentina ha crecido significativamente en las últimas décadas, con un aumento en la producción de publicaciones académicas y la diversificación de las áreas de investigación [5, 6]. Donde la producción científica en Argentina se encuentra vinculada estrechamente a las universidades, las cuales desempeñan un papel clave en la generación de conocimiento a través de la investigación realizada por sus docentes y estudiantes.

En este contexto, los congresos especializados cumplen una función esencial como espacios de difusión del conocimiento y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





fortalecimiento de las comunidades académicas. Particularmente en el ámbito de la Ingeniería en Informática y Sistemas de Información, el CoNaIISI se ha consolidado como uno de los eventos más relevantes del país. Este congreso reúne anualmente a docentes investigadores, estudiantes y profesionales de diversas instituciones, promoviendo el intercambio de ideas, la visibilización de líneas de trabajo y la articulación de iniciativas en torno a los avances más recientes en estas disciplinas.

Dado su rol crucial en la difusión del conocimiento, los artículos científicos son comúnmente utilizados como una medida estándar de la producción científica, tanto a nivel nacional como institucional. Aunque no constituyen el único producto de la actividad científica, y las distintas disciplinas difunden sus avances de formas diversas, el uso de indicadores cienciométricos ofrece una primera aproximación para analizar la disciplina en cuestión.

La cienciometría (scientometrics) como disciplina se denomina al "estudio de los aspectos cuantitativos de la comunicación científica, las prácticas de investigación y desarrollo, así como las políticas de ciencia y tecnología" [7].

Algunos de los temas que interesan a la cienciometría incluyen el crecimiento cuantitativo de la ciencia, el desarrollo de las disciplinas y subdisciplinas, la relación entre ciencia y tecnología, la estructura de comunicación entre los científicos, la productividad y creatividad de los investigadores, las relaciones entre el desarrollo científico y el crecimiento económico, entre otros [8].

El principal objeto de estudio de la cienciometría son los artefactos que se producen como resultado del proceso de investigación [9]. Estos artefactos toman la forma de publicaciones, que pueden diferir entre sí en el medio utilizado, la periodicidad, el tipo, etc. pero que siempre cuentan con algunas características y atributos comunes.

Con la aparición de big data se logra que grandes conjuntos de datos puedan ahora ser tratados y utilizados con fines analíticos y de predicción. La combinación de big data, data minning, bibliometría y redes sociales, ha dado lugar a lo que se ha denominado como science mapping [10], cuyo objetivo es visualizar la estructura y relaciones de la ciencia en general, y de las áreas científicas, disciplinas, líneas de investigación, autorías, etc.

Una base de datos cienciométrica es un sistema de representación del conocimiento, específicamente de aquel asociado a la producción científica. Si bien el formato y estructura de dichos documentos está en gran medida estandarizada, también es real que las relaciones entre las entidades que componen un trabajo de investigación pueden ser muy variables. Y es precisamente en el marco de estas relaciones donde radica el mayor valor del análisis cienciométrico.

Desde hace un tiempo y con el advenimiento de disciplinas como data minning, data Warehousing y algunas aplicaciones de inteligencia artificial y machine learning, se están impulsando modelos que permitan gestionar eficientemente grandes cantidades de datos heterogéneos [11].

Los modelos de bases de datos de grafos son una de las alternativas para representar los datos y sus relaciones, ya que las mismas se modelan como un grafo y se pueden considerar como un mecanismo idóneo para la representación de la información necesaria para un ''science mapping''.

En el contexto del trabajo presentado, la base de datos cienciométrica está modelada como un grafo, donde los nodos pueden representar autores, instituciones o artículos, y las aristas indican las relaciones entre ellos, como la coautoría, la pertenencia institucional o la afinidad temática. [12] (ver Figura 1).

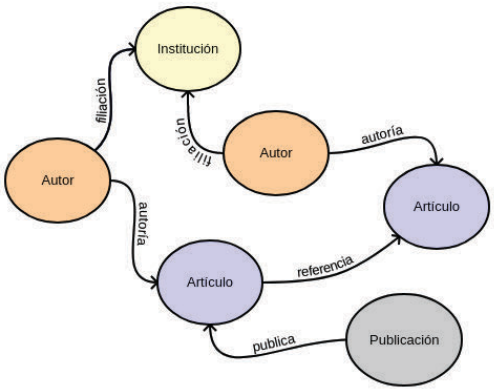



Figura 1: Base de datos cienciométrica modelada como grafo

El uso de estas bases de datos de grafos permite realizar el análisis de redes y grafos, es una herramienta clave para examinar las estructuras de colaboración en ciencia y tecnología, permitiendo visualizar y cuantificar las interacciones entre los actores de una red, lo cual es especialmente útil para identificar comunidades de investigación, medir la influencia de ciertos autores o instituciones y detectar patrones de colaboración. Éste enfoque es particularmente útil para entender la estructura de la red científica en el CoNaIISI, donde participan tanto docentes investigadores como estudiantes.

Actualmente, el CoNaIISI, utiliza para su gestión el software Open Conference Systems (OCS) que es una solución de código abierto del proyecto Public Knowledge Project (PKP) [1] para la administración de conferencias. Es una solución altamente flexible basada en PHP y puede hacer uso de bases de datos MySQL o PostgreSQL.

Si bien OCS se sigue utilizando en diferentes congresos, ya no recibe soporte técnico ni se encuentra en desarrollo activo[2]. Por esta razón, el equipo del proyecto incorporó como uno de sus objetivos el diseño e implementación de una solución propia para la gestión de congresos, adaptada a las necesidades actuales y con posibilidades de evolución y mantenimiento sostenido en el tiempo.

El principal desafío para realizar un análisis cienciométrico preciso no radica únicamente en las herramientas de visualización, sino en la calidad y estructura de los datos de entrada. Los sistemas de gestión de congresos heredados, como Open Conference Systems (OCS), o los repositorios de artículos en formato PDF, pueden presentar limitaciones significativas. La extracción de entidades a partir de documentos no estructurados es un proceso propenso a errores, que puede generar ambigüedades en la identificación de autores, inconsistencias en las afiliaciones institucionales y una pérdida de metadatos valiosos del proceso de revisión.

1. El Public Knowledge Project PKP, es una iniciativa de investigación sin ánimo de lucro de la Facultad de Educación de la Universidad de British Columbia, el Centro Canadiense para estudios en publicación en la Universidad Simon Fraser, la biblioteca de la Universidad Simon Fraser, y la Universidad de Stanford. https://pkp.sfu.ca/

2. https://pkp.sfu.ca/software/retired/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





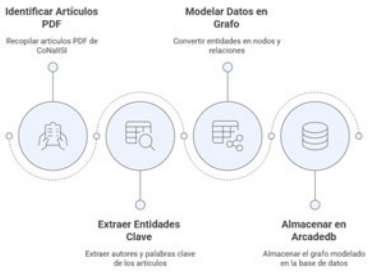



Figura 2: Proceso de extracción, modelado y grabación

En este escenario, Congressity no sólo reemplazaría a OCS en la administración del evento, sino que también actuaría como un generador continuo de datos estructurados que alimentan la base cienciométrica. Su adopción permite capturar metadatos enriquecidos (autores, evaluaciones, temáticas, cronologías) que luego son analizados en Scarif, cerrando el ciclo entre gestión operativa y análisis científico.

## 2. Métodos

El desarrollo de la plataforma se estructuró en distintas etapas que abarcaron desde el diseño general del proyecto hasta la implementación de las herramientas necesarias para la recolección, organización y visualización de los datos. En primer lugar, se definió una estrategia de análisis orientada a construir una base de datos cienciométrica a partir de los artículos científicos presentados por docentes y estudiantes en distintas ediciones del CoNaIISI. Esta base de datos, organizada bajo un modelo de grafos, permite representar tanto los contenidos como las relaciones entre los distintos trabajos, autores e instituciones.

El proceso metodológico incluyó un proceso de extracción y procesamiento de texto y el modelado y grabación de los datos en la base de datos [2, 3, 4]. En general, consistió en la extracción automatizada de entidades clave (autores, palabras clave, etc.) desde los artículos en formato de archivos PDF. Posteriormente, esta información fue modelada y almacenada en la base de datos de grafos ArcadeDB, donde los datos extraídos se representaron como nodos, conectados por relaciones que definen coautorías, afiliaciones institucionales y afinidades temáticas (Ver figura 2)

El proyecto dio lugar al desarrollo de dos herramientas complementarias: por un lado, una plataforma específica para la grabación, consulta y visualización interactiva del grafo, que permite explorar relaciones, aplicar filtros y analizar distintos indicadores cienciométricos, denominada Scarif; y por otro lado, un sistema de gestión de congresos denominado Congressity, diseñado con funcionalidades específicas para la organización y administración de eventos académicos, incluyendo la carga de trabajos, evaluación, notificaciones, entre otros. Este último surge como una alternativa para reemplazar al software OCS que se utiliza actualmente en el CoNaIISI, ya que como se mencionó antes, OCS no recibe soporte técnico ni se encuentra en desarrollo activo.

Ambas herramientas se integran como parte de una solución que busca facilitar el análisis y la gestión de la producción científica en el contexto del CoNaIISI.

A continuación, se describen en detalle cada uno de los componentes y decisiones técnicas que sustentan el diseño e implementación de la plataforma.

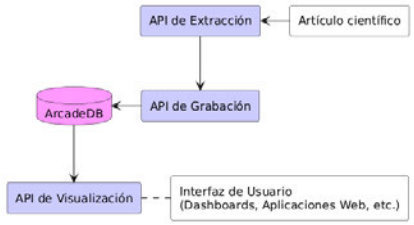



Figura 3: Arquitectura de Scarif

### 2.1. Diseño

El diseño del proyecto contempló una arquitectura modular, orientada a resolver dos necesidades complementarias: por un lado, la construcción y visualización de una base de datos cienciométrica basada en grafos; y por otro, la gestión integral de congresos académicos. Para ello, se desarrollaron dos sistemas diferenciados pero complementarios: Scarif, como plataforma de análisis cienciométrico y visualización de grafos, y Congressity, como sistema de gestión de congresos científicos.

Este diseño dual permite abordar tanto la dimensión analítica de la producción académica como los aspectos operativos de la gestión de congresos, favoreciendo una visión más integral de las dinámicas de investigación y permitiendo a RIISIC el análisis de publicaciones y vinculaciones dentro de la comunidad académica de la UTN.

#### *2.1.1. Scarif:*

Fue creado para realizar la extracción y el almacenamiento de información proveniente de artículos científicos presentados en el CoNaIISI. El sistema se apoya en una base de datos de grafos que permite representar de manera natural y eficiente las relaciones entre autores, artículos, instituciones y temáticas. El modelo contempla nodos para cada entidad relevante (por ejemplo, artículos, autores, palabras clave, ediciones del congreso) y aristas que representan las conexiones entre ellas (como coautoría, participación institucional, coincidencia temática, etc.) [2, 3, 4].

Scarif cuenta con un conjunto de interfaces de programación de aplicaciones (API) desarrolladas específicamente para cada etapa del proceso, así como con una interfaz web interactiva que permite a los usuarios explorar y analizar la información de forma visual e intuitiva (Ver figura 3). Las APIs permiten automatizar el flujo de datos desde la extracción hasta la visualización, mientras que la interfaz web ofrece acceso a los grafos generados, con opciones de navegación, filtros, métricas e indicadores cienciométricos.

En particular, se desarrollaron los siguientes componentes:

- Una API de extracción, que permite obtener información estructurada a partir de los artículos científicos, incluyendo metadatos, autores, resúmenes y clasificaciones temáticas.
- Una API de grabación, que inserta y actualiza los datos en la base de grafos según el modelo definido.
- Una API de visualización, que facilita el acceso interactivo a los grafos construidos, permitiendo explorar la red científica mediante filtros, métricas e indicadores.
- Una interfaz web de visualización, orientada al análisis exploratorio y visual de la red construida, pensada para facilitar la comprensión de las relaciones entre artículos, autores e

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





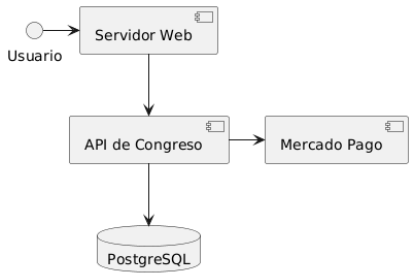



Figura 4: Arquitectura de Congressity

instituciones por parte de investigadores, gestores académicos y organizadores del congreso.

#### 2.1.2. *Congressity:*

Es un sistema web de gestión orientado a cubrir todas las etapas organizativas de un congreso académico. Congressity permite la carga y evaluación de trabajos, la gestión de usuarios (autores, revisores, organizadores), la administración de notificaciones, la generación de certificados y estadísticas, entre otras funcionalidades específicas del proceso de organización de eventos científicos. (ver figura 4)

Congressity fue diseñado con una arquitectura basada en APIs que permiten exponer de forma normalizada los metadatos de los artículos y sus procesos asociados (evaluaciones, decisiones, fechas, revisores). Esta interoperabilidad facilita la ingestión automática de los datos a Scarif, reduciendo la intervención manual y minimizando los errores de registro que suelen afectar a los análisis cienciométricos tradicionales.

Congressity puede gestionar las diferentes ediciones del congreso en todos los eventos futuros dentro del circuito.

Algunas funcionalidades principales:

- Gestión de configuración:
  - Creación del congreso: Se configura el nombre, las fechas de duración del congreso, los simposios, los chair principales (supervisores), las fechas de presentación de artículos y las fechas de prórroga.
  - Creación de la agenda: definición de talleres y sus horarios.
- Gestión de evaluadores:
  - Definición de Chair y evaluadores: para cada simposio se define un chair (supervisor) y un grupo de evaluadores para los artículos.
  - Notificaciones a los evaluadores: Se envía una notificación al evaluador en el momento en el que se le hayan asignado artículos para evaluar.
  - Notificaciones a los chairs: Se envía una notifiació al chair en el momento en el que se hayan evaluado los artículos por parte de los evaluadores.
  - Creación de perfiles de evaluador: Se registran los datos del evaluador, entre ellos, nombre y apellido, fecha de nacimiento, área de interés, títulos académicos, nacionalidad, email y temas afines. El área de interés servirá luego para que el chair defina para qué simposio proponer a un determinado evaluador.
- Gestión de autores:
  - Registro de autores: Se registran los datos del autor, entre ellos, nombre y apellido, fecha de nacimiento, área de interés, títulos académicos, nacionalidad, email y datos de facturación (Dirección de facturación, tipo de factura, cuenta bancaria).
- Gestión de artículos:
  - Carga de artículos: Se registra el arículo, se deben indicar la totalidad de los autores, tema, y adjuntar el documento.
  - Asignación de los artículos: Se listan y se seleccionan los evaluadores que realizarán la revisión de los artículos.
  - Evaluación de los artículos: Se registra la revisión de del artículo por cada evaluador asignado, en la misma se registrarán todas las aclaraciones necesarias.
  - Notificación a los autores: una vez evaluado un artículo, se envía al autor una notificación informando el resultado y la fecha de re-entrega límite si requiere.
- Gestión de Inscripciones:
  - Registro de inscripciones: Todas las personas del congreso se tienen que inscribir (docentes/asistentes alumnos/autores,etc). Se debe indicar dirección de facturación y nombre del participante a emitir el certificado.
  - Registro de pagos de inscripción: el pago se maneja al momento de la inscripción y se deben diferenciar las tarifas según el tipo de asistente (docente,alumno,etc.), y según momento de la inscripción (inscripción tardía/inscripción temprana). Tiene la posibilidad de utilizar medios de pago estandars como transferencias bancarias, tarjetas de crédito/débito y/o billeteras virtuales.
- Gestión de desarrollo del congreso:
  - Control de asistencia: registro de asistencias mediante QR.
  - Sistema de gestión en tiempo real: durante el transcurso del congreso, se mostrará en tiempo real toda la información necesaria sobre los talleres/simposios que se llevarán a cabo durante el día.
- Gestión post congreso:
  - Generación de certificados: se pueden generar los certificados de asistencia, de participación y de exposición.
  - Generación de reportes/estadísticas: se pueden generar diferentes reportes asociados a lo ocurrido durante el evento. Por ejemplo: Informes de mejores talleres, mejores expositores, temáticas en tendencia, entre otros.
  - Estadísticas relacionadas con el resultado de las evaluaciones: total de trabajos evaluados por evaluador, porcentaje de aprobación por simposio, entre otros.

### 2.2. Tecnologías

La tecnología que se utilizó para crear la plataforma incluye herramientas de código abierto, ya que su uso será en un ambiente universitario y por eso es de fundamental importancia no depender de ningún tipo de licenciamiento propietario. Se eligieron herramientas y librerías que estuvieran en un estado apto para producción, debido a que el eje de investigación no radicaba en el estudio de las herramientas sino en la utilización de las mismas para la implementación de una plataforma funcional.

Para el almacenamiento de los datos se optó por diferentes bases de datos:

- Base de datos de grafos: Para representar el contenido de los artículos científicos, ya que permite modelar tanto los datos como las relaciones existentes entre los trabajos analizados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





Se utilizó la base de datos ArcadeDB, que es orientada a grafos y permite almacenar y gestionar relaciones complejas entre datos, ideal para el análisis cienciométrico.

- Base de datos relacional: Para registrar los datos propios de la gestión de congreso, dicha elección se realizó para simplificar la construcción del sistema Congressity, que además de almacenar los artículos enviados por los autores, almacenan información propia del congreso, que no es relevante para el estudio de los artículos, pero si necesaria para la gestión. Se utilizó PostgreSQL, que es una base de datos relacional, una opción recomendada para entornos de producción, ya que ofrece escalabilidad y rendimiento.

Para todas las implementaciones se utilizaron las siguientes herramientas:

- GitLab: plataforma para la gestión del ciclo de vida del software, que facilita el control de versiones, la integración continua y la colaboración en el desarrollo.
- ClickUp: herramienta de gestión de proyectos que permite planificar, organizar y supervisar tareas, mejorar la productividad del equipo y facilitar la colaboración en tiempo real.
- Docker: plataforma de contenedores que asegura la consistencia y portabilidad del entorno de desarrollo, facilitando la implementación y escalabilidad del proyecto.
- Python: lenguaje de programación versátil utilizado para desarrollar la lógica del proyecto y manejar la interacción con las bases de datos.

#### *2.2.1. Scarif:*

Se emplearon diversas herramientas que facilitaron cada etapa del proceso, desde la investigación hasta la implementación final, entre ellas:

- TypeScript: lenguaje de programación que extiende JavaScript, proporcionando tipado estático y mejorando la robustez del código en aplicaciones complejas.
- Django: framework web en Python que facilita el desarrollo rápido de aplicaciones seguras y mantenibles, proporcionando herramientas integradas para la gestión de bases de datos, seguridad y autenticación.
- React: biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario interactivas y dinámicas, permitiendo el desarrollo eficiente web de la capa frontend del proyecto.

#### *2.2.2. Congressity:*

Se emplearon diversas herramientas para la implementación del mismo (ver figura 5) , entre ellas:

- Django rest framework: Django rest es una biblioteca que permite crear APIs RESTful en Python. Se utiliza para la API encargada de resolver e implementar las reglas del negocio del sistema.
- HTML5, CSS3 y Angular: Son tecnologías que se usan para desarrollar sitios web, se utilizan como framework principal. Se comunica con la API de Congressity utilizando llamadas HTTP.
- Heroku: Heroku es una plataforma que permite a los desarrolladores crear, ejecutar y operar aplicaciones completamente en la nube. Aquí se encuentra desplegado todo el servidor de Congressity. Garantiza la integridad, consistencia y accesibilidad de los datos además de proveer los esquemas necesarios para el funcionamiento de la aplicación. Se comunica directamente con la API, quien luego envía la información necesaria al cliente web.

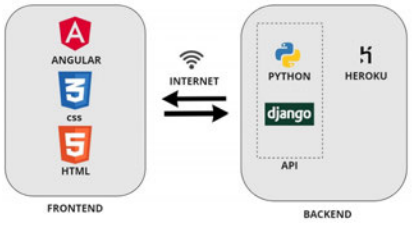



Figura 5: Tecnologías de Congressity



Figura 6: Listado de artículos por palabra clave “Machine learning”

## 3. Resultados

Para las demostraciones de funcionalidad se han seleccionados algunos formularios de muestras representativos del objeto de estudio, también es necesario aclarar que esta plataforma, todavía no está en producción, sigue en fase de integración y pruebas, en cuento finalice esta etapa se publicaran los links del acceso a la misma.

### 3.1. Scarif

A través de la interface web de scarif, se pueden acceder a todos los artículos registrados en las diferentes ediciones del congreso, se pueden filtrar los mismos según diferentes criterios, por ejemplo, aplicando el filtro por palabras clave ’’machine learning’’, se pueden observar todos los artículos con esa referencia en las distintas ediciones del congreso, tanto en formato de listado (ver figura 6) como en formato de grafo (ver figura 7), también se puede visualizar un gráfico estadístico relacionado (ver figura 8).

Adicionalmente, se puede seleccionar un artículo y visualizar la información relacionada a sus autores, referencias, instituciones, entre otros, (ver figura 9).

Al momento de redactar este trabajo, se están integrando los módulos de visualización de indicadores de productividad científica, distribución geográfica y temporal, los cuales incluyen los siguientes indicadores:

- Productividad Científica: número total de artículos, número de artículos por autor/institución, relación entre autores y ar-

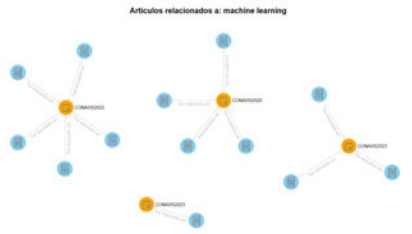



Figura 7: Grafo de artículos por palabra clave “Machine learning”

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026








Figura 8: Total de artículos por tema



Figura 9: Relación de un articulo con autores, referencias e instituciones

tículos, distribución de autores, distribución de instituciones, distribución entre investigadores docentes y estudiantes.

- Distribución geográfica: ubicación geográfica de las ediciones del congreso, cantidad de sedes en Argentina, cantidad de artículos publicados por sede, proporción de contribuciones por región.
- Temporales: cantidad de artículos totales por año, cantidad de artículos por año y por investigadores, cantidad de artículos de estudiantes por año.

### 3.2. Congressity

A través del sitio web de congressity (ver figura 10), se pueden acceder a todas las funcionalidades descriptas en la sección anterior, se presenta un formulario principal donde se pueden visualizar los congresos activos, su información relacionada y el menú de opciones para acceder a las distintas prestaciones del sistema (ver figura 11).

La integración con Congressity permite disponer de datos actualizados en tiempo real durante la organización del congreso, habilitando visualizaciones dinámicas sobre la productividad, la distribución geográfica y las redes de colaboración incluso antes de la publicación final de las memorias. Este flujo continuo de información constituye una innovación respecto de enfoques cienciométricos que dependen de cargas manuales posteriores.




Figura 10: Presentación de Congressity



Figura 11: Formulario principal de Congressity

## 4. Conclusiones

El desarrollo de la plataforma presentada constituye un aporte significativo a la gestión y análisis de la producción científica en el ámbito del CoNaIISI. A través de la construcción de una base de datos cienciométrica modelada como grafo, y mediante herramientas específicas como Scarif para la visualización e interpretación de relaciones entre artículos, autores e instituciones, se logró representar de manera estructurada y dinámica los intereses de investigación de docentes y estudiantes participantes.

Asimismo, el diseño e implementación del sistema Congressity como herramienta de gestión de congresos académicos, permite complementar el enfoque analítico con una solución operativa que responde a las necesidades organizativas actuales del congreso. La integración de ambas herramientas refuerza el valor estratégico del proyecto, permitiendo no solo registrar información, sino también generar conocimiento útil para la toma de decisiones, la planificación institucional y el fortalecimiento de las comunidades académicas.

Los avances logrados demuestran el potencial de combinar tecnologías abiertas, metodologías cienciométricas y visualización interactiva para fomentar una gestión más informada y colaborativa del conocimiento científico en entornos universitarios. Una vez finalizada la etapa de pruebas e integración, se espera que la plataforma pueda ser utilizada por otras unidades académicas de la UTN, ampliando así su alcance y capacidad de impacto.

### 4.1. Trabajos futuros

Como se mencionó en la sección anterior, la plataforma todavía no está en producción y continúa en fase de integración y pruebas, se espera poder integrar al visualizador de Scarif el módulo completo de indicadores cienciométricos y a Congressity integrarlo con Scarif para alimentar y consumir la base de datos cienciométrica para futuras consultas y análisis.

Se espera desplegar toda la plataforma en servidores provistos por FRC-UTN y hacer las pruebas respectivas, la puesta en producción y la presentación de la misma a los organizadores del CoNaIISI.

La visión a futuro es que Scarif trascienda este congreso. Al poner la herramienta a disposición de la comunidad, se busca fomentar su adopción en otros eventos académicos. Esto permitiría interconectar bases de datos y habilitar análisis comparativos y longitudinales a una escala mayor, ofreciendo una visión macro de la evolución de la disciplina en la región.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





## Referencias

[1] Roberto M Muñoz et al. «Análisis y mapeo de relaciones de intereses y proyectos, entre artículos de docentes y de estudiantes, en temáticas del Congreso nacional de Ingeniería en Informática/ Sistemas de Información de RIISIC, a través de información extraída de una base de datos cienciométrica». En: *XXVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2024, Puerto Madryn - Chubut, Argentina)*. Disponible en: https://wicc2024.unp.edu.ar/evento/galeria-de-posters/menu-bdmd/analisis-y-mapeo-de-relaciones-de-intereses-y-proyectos-entre-articulos-de-docentes-y-de-estudiantes-en-tematicas-del-congreso-nacional-de-ingenieria-en-informatica-sistemas-de-informacion-de-riisic. 2024.

[2] Roberto M Muñoz et al. «Criterios para el diseño de una base de datos cienciométrica». En: *Congreso Nacional de Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI 2020, San Francisco, Córdoba, Argentina)*. 2020.

[3] Roberto M Muñoz et al. «Una estrategia de extracción de datos de artículos científicos para la realización de análisis cienciométricos». En: *Congreso Nacional de Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI 2021, San Francisco, Córdoba, Argentina)*. 2021.

[4] Roberto M Muñoz et al. «Métricas e interrelaciones identificadas en análisis cienciométrico sobre producción científica». En: *Congreso Nacional de Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI 2022, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina)*. 2022.

[5] CONICET. *Indicadores de la Producción Científico Tecnológica*. Oficina Técnica del Repositorio Institucional CONICET Digital Gerencia de Organización y Sistemas, Repositorio Institucional CONICET Digital N°4. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/wp/wp-content/uploads/2023/11/Boletin-4-02112023-v2.pdf. Accedido el 15 de agosto de 2024. 2023.

[6] DNIC. *Medición de la Producción científica en Big Data*. Dirección Nacional de Información Científica (DNIC) de la Subsecretaría de Estudios y Prospectiva dependiente de la Secretaría de Planeamiento y Políticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/medicion_produccion_cientifica_big_data.pdf. Accedido el 15 de agosto de 2024. 2015.

[7] Esmeralda Cervantes Rendón y Victoriano Garza-Almanza. «La cienciometría como herramienta para analizar el impacto de la investigación científica en una región». En: *Cultura Científica y Tecnológica* 48 (2015).

[8] Ernesto Spinak. «Indicadores cienciométricos». En: *Acimed* 9 (2001), páginas 16-18.

[9] Chaomei Chen et al. «Mapping Scientometrics (1981–2001)». En: *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology* 39.1 (2002), páginas 25-34.

[10] Manuel J Cobo et al. «Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools». En: *Journal of the American Society for information Science and Technology* 62.7 (2011), páginas 1382-1402.

[11] Chad Vicknair et al. «A comparison of a graph database and a relational database: a data provenance perspective». En: *Proceedings of the 48th annual Southeast regional conference*. 2010, páginas 1-6.

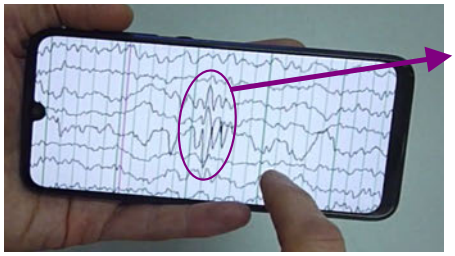
[12] Frank Van Harmelen, Vladimir Lifschitz y Bruce Porter. *Handbook of knowledge representation*. Elsevier, 2008.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



13° CoNaIISI 2025
Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información

# Hacia el Diagnóstico Asistido por IA: Usabilidad de Aplicaciones Móviles en la Validación del diagnóstico del EEG



**Grafoelemento = Patrón patológico**

**Lo encuentra una IA**

**El médico lo debe validar**

## ¿Que hace el usuario más rápido antes de aceptar?




**ZOOM**

**DESPLAZAMIENTO**

## Conclusiones

Rápidos- Activos: zoom dinámico alterna niveles recorren mucho y barren toda la imagen

Lentos - Contemplativos: zoom estático +/-20 % se enfocan en partes de la imagen

**Poner esfuerzo de diseño en interfaz dinámica**

*Autores:*
*Diego Coulombie[1], Alberto Miguens[1], Ariel Gentile[2], Cecilia Lucero[3]*
*[1]Universidad Nacional de La Matanza*
*[2]Universidad Favaloro*

confedi
Consejo Federal de Decanos y Decanas de Ingeniería de la República Argentina

UTN Facultad Regional Córdoba



CONAIISI 2025 | UTN FRC FACULTAD REGIONAL CÓRDOBA

*Capítulo*

# 2

# *Bases de Datos*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# *Replicación "Maestro-Esclavo" en Base de Datos No SQL Clave-Valor Embebidas no Distribuidas*

*Cherencio, Guillermo Ruben* [1,2]
[1]*Proyecto de Investigación "Replicación Maestro-Esclavo en Bases de Datos No SQL Clave-Valor Embebidas no Distribuidas" Universidad Nacional de Luján.* [2]*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta*
gcherencio@unlu.edu.ar; gcherencio@frd.utn.edu.ar

## Resumen

*La librería libdb 5.3 disponible en Linux® permite embeber una base de dato de tipo clave – valor Berkeley DB® (BDB) utilizando una arquitectura de tipo file – server; es posible implementar uno o más procesos concurrentes o hilos de ejecución (threads) que utilicen una o más bases de datos BDB dentro de un mismo computador, sin embargo, no es posible crear una aplicación cliente que se comunique con una aplicación servidora que embeba una base de datos BDB. Este trabajo pretende crear una aplicación server BDB (SBDB) que permita la gestión de bases de datos BDB desde aplicaciones cliente que no requieran libdb. Esto permitirá migrar aplicaciones BDB a una arquitectura cliente – servidor utilizando una API más reducida y simple. La librería libdb permite implementar replicación para alta disponibilidad (HA) de bases de datos BDB en un ambiente distribuido denominado BDB HA que implementa el modelo un maestro – n replicas. BDB HA es una solución asincrónica y se implementa utilizando la técnica de log shipping o bien streaming replication [1]. Este proyecto pretende implementar una estrategia de replicación de tipo maestro – esclavo, a partir de la aplicación server SBDB, utilizando una API reducida (con respecto a la API BDB) y una estrategia de replicación propia de tipo maestro – esclavo asincrónica basada en la actualización de servidores esclavos suscriptos a través del envío de transacciones previamente aplicadas en servidor maestro. Esto permitirá el desarrollo y prueba de aplicaciones distribuidas utilizando BDB embebida en nodo maestro y en nodos esclavos. Esta aplicación está desarrollada bajo licencia GNU GPL.*

## Palabras Clave
Berkeley BDB Linux/Unix C

## 1 Introducción

En el marco del proyecto de investigación sobre replicación de datos distribuidos denominado "Replicación Maestro - Esclavo en Base de Datos No SQL Clave-Valor Embebidas no Distribuidas" [2], se propuso el desarrollo de un software para la replicación de bases de datos embebidas, no SQL, de tipo clave – valor BDB. El proyecto tiene una duración de dos años, comenzó en 2024, el primer año se realizó análisis de la API BDB para embeberla en un software servidor y se diseñó el protocolo de comunicaciones con aplicación cliente; en el segundo año, se implementó una replicación de tipo maestro – esclavo, se realizaron las primeras pruebas, se publicó el software y se comenzó con la capacitación de los auxiliares para realizar pruebas de uso del software en la asignatura 11078 Base de Datos II de la Licenciatura en Sistemas de Información de la Universidad Nacional de Luján.

Se considera a una base de datos (BD) como un conjunto de datos relacionados entre sí. Se definen como datos a hechos conocidos que pueden registrarse y que tienen un significado implícito.

Una base de datos representa algún aspecto del mundo real al que se denomina universo de discurso (UoD), también implica un conjunto de datos lógicamente coherente, tiene un propósito específico y está orientada a un determinado grupo de usuarios. Un Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD) es un software de propósito general conformado por un conjunto de programas que permite a los usuarios crear y mantener una BD [3].

Un modelo de datos es una colección de herramientas conceptuales para la descripción de datos, relaciones entre los datos, semántica de los datos y restricciones de consistencia [4] capaces de representar un determinado UoD. Se han desarrollado distintos modelos de datos, entre ellos, el modelo de datos clave – valor, desarrollado originalmente por Ken Thompson en 1979 e implementado en la librería *dbm*, la cual permaneció por años disponible en Unix®; más tarde se distribuyó al resto de plataformas, permitiendo el desarrollo de aplicaciones bajo este modelo de datos.

En 1991 se desarrolló la Berkeley DB (BDB) en la Universidad de California, para el sistema operativo BSD (licencia Berkeley Software Distribution), como una forma de reemplazar la librería *dbm* que era propiedad de AT&T® y comienza a estar disponible bajo licencia BSD y licencia pública de SleepyCat Software (quien mantiene la librería) aprobada por la Open Source Initiative (OSI) y la Free Software Foundation (FSF). En 2006 Oracle Corporation adquiere a SleepyCat Software y se cambia la licencia de *dbm* a partir de la versión 6.0.21, provocando que muchas distribuciones Linux® distribuyan hasta la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



versión 5.3. Esta situación ha dificultado la actualización o migración de aplicaciones basadas en esta librería. Este trabajo está basado en la versión 5.3 de *dbm* (última disponible en Linux® bajo licencia SleepyCat), con el objeto de colaborar en la actualización de aplicaciones denominadas heredadas (*legacy*) [5].

La simplicidad del modelo de datos clave – valor ha permitido que fuese utilizado como software de base en la implementación de bases de datos relacionales (BDR) y en sistemas gestores de bases de datos relacionales (SGBDR). A partir de la conexión masiva de dispositivos a internet, las redes sociales, el internet de las cosas (IoT) [6], etc. implica un doble problema: el volumen de los datos a procesar y la frecuencia en que éstos llegan al servidor, poniendo en evidencia las limitaciones de los SGBDR en este sentido. En este contexto, el modelo clave – valor es factible para el almacenamiento masivo en datos con alta frecuencia de arribo. Todo este contexto explica el interés y las tensiones en torno a este modelo.

La librería *dbm* permite embeber una BDB en una aplicación bajo una arquitectura de tipo *file-server*, también es factible el uso de *dbm* en un contexto de aplicación multihilo (*multithread*) [7]. Un primer objetivo de este trabajo es crear un servidor multihilo que embeba una BDB, bajo una arquitectura de tipo *client - server*, permitiendo crear transacciones sobre una BDB embebida, envolviendo la API BDB. Esto permitirá migrar aplicaciones BDB *file - server* a una arquitectura *client – server*, en donde los clientes no requieran el uso de la librería *dbm*.

La comunicación entre los clientes y el servidor se realiza a través de un protocolo propio de comunicación que permite las operaciones básicas sobre BDB, para simplificar la implementación del mismo, se utilizó un cliente universal como *telnet*. Este protocolo debe contemplar la transmisión y almacenamiento de datos de tipo texto así como también binario. También se requerirá de una librería que facilite el uso de este protocolo desde aplicaciones.

La evolución actual de *dbm* nos permite usar su sistema de control de concurrencia (SCC) [8] para implementar transacciones, por lo tanto, los clientes pueden iniciar y finalizar transacciones. Otro objetivo de este trabajo es la replicación de este tipo de BD, para ello, se optó por serializar las transacciones a través de la implementación de un número unívoco de transacción (*transaction id*, TID) propio de la aplicación e independiente del SCC BDB. Cuando se inicia una transacción, se genera su TID y se van registrando cada una de las operaciones de la transacción, toda la información reside en memoria y en disco, se graba tempranamente, como un log de tipo *write ahead log* (WAL) [9] en archivos temporarios bajo el nombre <TID>.log. Se mantiene una sincronización entre el estado de la transacción en el SCC, en la memoria y en archivo <TID>.log.

Contar con la enumeración de las transacciones, facilita la implementación de un esquema de replicación de tipo maestro – esclavo, en este caso, se trata de una replicación de tipo asincrónica, en donde el servidor maestro es el único que procesa transacciones mientras que los servidores esclavos solo pueden responder a consultas de sus clientes. Un servidor esclavo está actualizado hasta su último TID aplicado. Cuando un servidor esclavo se inicia, lo primero que hace es conectarse a su servidor maestro y actualizarse, luego las restantes actualizaciones son a pedido del usuario. Este esquema no implica que todos los servidores esclavos "ven lo mismo" al mismo tiempo.

Una vez que las transacciones han sido aplicadas o abortadas en el servidor maestro, cuando éste se inicia o cuando éste finaliza o cuando éste se encuentra sin clientes conectados, se produce un proceso de consolidación de los archivos <TID>.log en un único archivo que se denomina *master log* (MLOG). También hay un proceso de limpieza de memoria en servidor maestro.

De esta forma, se implementa un sistema de base de datos BDB distribuido homogéneo [10] basado en arquitectura maestro – esclavo asincrónica, el cual permite la recuperación del servidor maestro y esclavos a cualquier punto en el tiempo (*point in time recovery*, PITR) [11] a través de la aplicación (REDO) del log de transacciones y también permite la recuperación del servidor a partir de los archivos log temporarios ante una caída abrupta del servidor.

Todo el software ha sido desarrollado en el lenguaje C [12] en plataforma Linux® amd64 Debian 11, utlizando las librerías: db 5.3 (*dbm*, BDB), pthread (hilos, *threads*). No se ha utilizado ningún otro sistema o código de terceros, solo la bibliografía citada, el diseño de los archivos log y su consolidación son de diseño propio. Si bien el sistema permite la migración de aplicaciones *legacy* a nuevas arquitecturas *client – server* e incluso distribuidas, el principal objetivo es académico – educativo, para el uso de este sistema en asignaturas de BD distribuidas (BDD) y BD no SQL. El software está disponible en el repositorio GitLab® con los comandos:

```
$ git clone
https://gitlab.com/grchere/bdbsrv.git
$ cd bdbsrv
$ ./configure
$ make
$ make data
```

**Figura 1. Descarga y Compilación de bdbsrv**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de esta forma se puede descargar y compilar el software *bdbsrv* en su versión inicial, aún en desarrollo, no obstante, puede utilizarse para realizar pruebas acorde con su manual de uso. Todo el desarrollo se realizó según los *standards* de desarrollo de la FSF y bajo licencia GNU GPL [13].

## 2 Recursos del trabajo y método utilizado

El presente trabajo se llevó adelante siguiendo una serie de etapas, tomando los lineamientos generales de Blanchette [14]:

1. Requisitos
2. Diseño y desarrollo de SBDB maestro.
3. Implementación SBDB maestro
4. Diseño y desarrollo de SBDB esclavo.
5. Implementación SBDB esclavo
6. Empaquetado, publicación y distribución.

### 2.1 Requisitos

La aplicación propuesta tiene los siguientes requisitos:

2.1.1 Embeber BDB en aplicación multihilo.
2.1.2 Crear servidor SBDB maestro multihilo.
2.1.3 Permitir iniciar y terminar transacciones desde clientes de SBDB maestro, en un entorno *client - server*.
2.1.4 Crear servidor SBDB esclavo.
2.1.5 Permitir solo consultas de clientes de SBDB esclavo.
2.1.6 Permitir distribución de transacciones a servidores SBDB esclavos.
2.1.7 Log de transacciones para dar al sistema tolerancia a fallos y formas de recuperación en caso de caídas de servidor maestro o esclavos.
2.1.8 Libre distribución bajo licencia GNU GPL.

### 2.2 Diseño y Desarrollo de SBDB maestro.

La primera etapa consta del desarrollo e implementación de una aplicación con BDB transaccional embebida y actualizada desde distintos hilos de ejecución, a modo de prueba de factibilidad de todo el proyecto. Una vez superada esta etapa, se comenzó con el diseño del servidor maestro.

El mismo debería responder a peticiones de clientes, por cada petición, el servidor lanzará un hilo de ejecución (*thread*) que comenzará un diálogo con el cliente. El cliente enviará una petición, el servidor la procesará y devolverá una respuesta al cliente; así hasta que el cliente decida terminar el diálogo. El formato de las peticiones que puede realizar el cliente es el siguiente:

```
<
OP="{COMANDO}" [COD="{CODI}"]
[CLAVE=".."] [VALOR=".."]
[LVALOR="{LARGO}"] [LCLAVE="{LARGO}"]
[POS="{POSICION}"]
>
```

**Figura 2. Formato de petición**

Los corchetes indican partes no obligatorias de la petición, lo que está entre llaves debe sustituirse por palabras clave, los puntos suspensivos se pueden reemplazar por cualquier carácter. Los posibles valores de {COMANDO} pueden ser:

```
{COMANDO}={BTR|CTR|ATR|GET|PUT|DEL|LST|CHK|
DRO|END|EXI|LST|SLV|TID|UPD|SID}
BTR = comenzar transacción
CTR = terminar/aplicar transacción
ATR = abortar transacción
GET = obtener clave de BD
PUT = crear o actualizar clave en BD
DEL = borrar clave de BD
CHK = chequeo de servidor, verificar si
esta on-line
DRO = borra todas las claves de la BD
END = termina dialogo con servidor
aplicando la transacción actual
EXI = termina dialogo con servidor
abortando la transacción actual
LST = listar claves y valores de la BD (por
ahora solo muestra valores)
SLV = esclavo, se conecta a maestro y se
actualiza
TID = devuelve la última transacción
procesada por el servidor
UPD = actualizar esclavo, solo desde
servidor esclavo puede usarse
SID = igual que TID pero ejecutado desde
servidor esclavo hacia servidor maestro
```

**Figura 3. Valores posibles de COMANDO**

La mayoría de los comandos no requiere mayor explicación; las opciones restantes de la petición son las siguientes:

```
{CODI}={STR|HEX} codificación del mensaje
STR = por defecto se asume STR, indica
mensaje en formato string, texto, ASCII
HEX = se asume hexadecimal, cada byte se
codifica como número hexadecimal de dos
cifras
{LARGO} = numero entero > 0, indica largo
en bytes de la clave o valor
{POSICION} = numero entero >= 0, indica la
posición de la clave
```

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Figura 4. Otros valores de petición**

El formato de las respuestas que puede obtener el cliente por parte del servidor es el siguiente:

```
<
OP="{COMANDO}" [COD="{CODI}"]
RET="{RC}" [CLAVE=".."] [VALOR=".."]
[ERROR=".."]
>
```

**Figura 5. Formato de respuesta**

Las opciones restantes de la respuesta, son las siguientes:

```
RC = numero entero de retorno de BDB, 0 es
Ok, distinto de cero es error
ERROR = por lo general es mensaje de error,
pero también se ha usado con RC = 0 para
indicar algún texto adicional
```

**Figura 6. Otros valores de respuesta**

Un ejemplo simple de diálogo entre cliente y servidor:

```
1<OP="TID">
2<OP="TID" COD="STR" RET="935" >
3<OP="BTR">
4<OP="BTR" COD="STR" RET="0"
ERROR="TID=936" >
5<OP="PUT" CLAVE="clave9963"
VALOR="valor9963">
6<OP="PUT" COD="STR" RET="0" >
7<OP="CTR">
8<OP="CTR" COD="STR" RET="0" >
9<OP="END">
Connection closed by foreign host.
```

**Figura 7. Dialogo cliente SBDB maestro**

Se enumeraron las líneas solo para la explicación, la línea 1 es la petición, la línea 2 es la respuesta del servidor maestro y así sucesivamente hasta que se envía comando END y el servidor cierra la conexión con el cliente. Aquí se puede ver como el usuario le pregunta al servidor ¿Cuál es el último número de transacción aplicada?, luego comienza una nueva transacción (TID=936), ingresa o actualiza la clave “clave9963” con valor “valor9963”, aplica la transacción y termina el diálogo con el comando END.

Las transacciones se representaron en memoria como una lista simplemente enlazada y cada nodo de esa lista tiene, a su vez, una lista de peticiones. En disco se diseñó una cabecera de transacción con todos los datos de la misma y a medida que se reciben peticiones se van agregando secuencialmente al archivo TID.log como registros de longitud variable, ya que las claves y los valores son de longitud variable. Los archivos TID.log se graban de inmediato y se mantienen tanto en memoria como en disco.

Cuando hay menor carga de trabajo en SDBD maestro se pasan los archivos TID.log al master log y se eliminan los archivos TID.log que son de almacenamiento temporario. El master log tiene una cabecera en donde se indica la transacción base (TRBASE), la cantidad máxima de transacciones a almacenar (N) y luego de eso, un arreglo de N punteros que se corresponden con la posición física dentro del archivo en donde se encuentra el contenido que antes estaba en TID.log. De esta forma, si deseo encontrar la TID X debo desplazarme X – TRBASE para encontrar la posición dentro del arreglo de punteros (asumiendo que x > TRBASE), tomando el valor del puntero, me posiciono en la posición correcta del log para leer todos los datos (de longitud variable) de la transacción X.

Como SBDB maestro o esclavo son aplicaciones servidoras multihilo, utilizamos un pthread mutex [15] para serializar el acceso a una función que genera los números unívocos de transacción; a medida que se crean las transacciones, se graba este dato de inmediato en el archivo *log.log*, ya que se requiere que este dato sea persistente.

La mayoría de las estructuras mencionadas se encuentran declaradas en *include/util.h* y en *include/bdb.h*. Podemos resumir la arquitectura descripta en el siguiente diagrama simplificado:

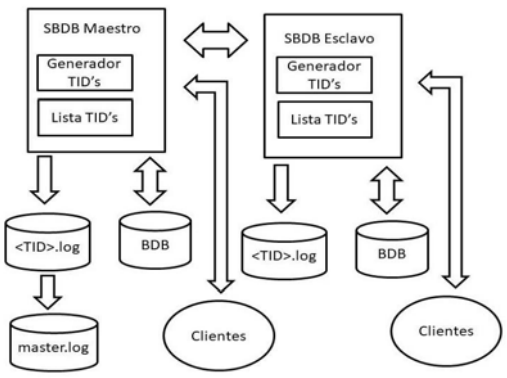



**Figura 8. Diagrama replicación asincrónica**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La arquitectura propuesta permite contar con un servidor BDB transaccional y distribuido que posee *logs* de transacciones de diseño propio, para resguardo de los datos de las transacciones aplicadas, de forma tal, de poder hacer REDO / UNDO de transacciones y poner al día servidores esclavos desactualizados. El desarrollo permite al alumno de base de datos distribuidas poder analizar y utilizar una herramienta de replicación sobre un modelo de datos simple. Las aplicaciones BDB *legacy* de tipo *file-server* podrían convertirse en aplicaciones transaccionales de tipo *client-server* e incluso, distribuidas. Todo esto puede realizarse utilizando una licencia GNU GPL.

## 2.3 Implementación SBDB maestro

Todo el desarrollo se hizo en lenguaje de programación C utilizando el compilador GNU GCC, en Linux ® amd64, Debian 11®, utilizando Visual Studio Code® (VSC). El código se encuentra en repositorio GitLab®. El proyecto se denominó *bdbsrv*. Las únicas librerías utilizadas en el proyecto son *pthread* y *dbm* 5.3. El desarrollo e implementación fue incremental acorde con el diseño propuesto, se utilizó un cliente universal *telnet* para comunicarse con el servidor. En *src/bdb.c* se agruparon todas las funciones para el uso de BDB; en *src/util.c* se agruparon todas las funciones de manejo de archivos, estructuras en memoria, *parsing*, etc. El programa *src/bdbsrvm.c* contiene todo el código correspondiente al servidor SBDB maestro. No se generó código masivamente utilizando herramientas de IA, solo se utilizó la asistencia de Microsoft Copilot ® como plug-in de VSC. Todo el desarrollo e implementación, pruebas, documentación, etc. fue realizado por el autor de este trabajo.

En esta etapa sólo se implementó el servidor maestro, realizando pruebas básicas de funcionamiento. La implementación del protocolo de comunicación propuesto se limitó a las operaciones básicas, no se implementó ninguna operación de replicación.

El servidor cuenta con un área de memoria global compartida por todos los hilos (*threads*) denominada *pool thread* (TPOOL) en donde se almacenan los parámetros que se pasarán desde la función principal a cada hilo que crea la aplicación, de esta forma, se evita tener que crear áreas dinámicas de memoria por cada cliente que se conecta al servidor.

El servidor en su arranque carga una lista enlazada de parámetros del archivo de configuración de la aplicación (*/bin/bdbsrvm.conf*), el cual está bien comentado, en donde se encuentran los siguientes parámetros de la aplicación:

**Tabla 1. Parámetros bdbsrvm (bdbsrvm.conf)**

| Parámetro | Descripción |
|---|---|
| server.ip | IP del servidor |
| server.puerto | Puerto TCP/IP del servidor |
| server.env | Carpeta en donde se almacenará todo el ambiente BDB |
| server.db | Nombre de la BD BDB |
| server.db.tipo | Tipo de BD BDB (btree, hash, queue, recno, etc) |
| server.log.dir | Carpeta donde se creará el master log y los archivos TID.log |
| server.log.file | Nombre del archivo master log |
| server.log.file.n | Parámetro N del master log, la cantidad de transacciones que puede almacenar |
| server.log.file.trbase | Número de transacción base del master log (TRBASE) |
| server.cola | Cantidad de clientes TCP/IP que puede encolar |
| server.pool | Cantidad de hilos simultáneos que puede atender (TPOOL) |
| server.modo | Indica el modo de operación (maestro o esclavo) |
| server.maestro.ip | En este caso, coincide con server.ip |
| server.maestro.puerto | En este caso, coincide con server.puerto |
| server.esclavo.X.ip<br>server.esclavo.X.puerto | Por cada servidor esclavo declarado, se debe indicar IP y puerto TCP/IP |
| server.numero | Número de servidor, debe ser unívoco, 0 para maestro |

La infraestructura utilizada fue provista por la Universidad Nacional Luján, a través del Centro de Investigación, Docencia y Extensión en Tecnologías de la Información y la Comunicación, de la Universidad Nacional de Luján (CIDETIC, https://cidetic.unlu.edu.ar/ ).

## 2.4 Diseño y desarrollo de SBDB esclavo

El diseño del servidor SBDB esclavo reutiliza gran parte del diseño del servidor SBDB maestro. Prácticamente es una copia del mismo, aunque tiene algunas características distintas: no tiene necesidad de implementar el master log, asumiendo que se tomen todos los recaudos por resguardar el master log del servidor maestro (también es posible que existan varios master

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



log's) esto asegura la capacidad de "poner al día" cualquier servidor esclavo.

Otra característica distintiva es que no aceptará iniciar transacciones por parte de los clientes que se conecten, este servidor es solo de consulta sobre BDB.

Cuando arranca el servidor esclavo, realiza una operación de UPD (actualización) contra el servidor maestro, allí se compara el TID actual del servidor esclavo con respecto al servidor maestro, para determinar si debe ser actualizado. El servidor maestro y el esclavo comienzan un diálogo de la misma forma que lo hace un usuario humano conectado al servidor maestro, aplicando cada una de las transacciones que fueron previamente aplicadas en el servidor maestro, actualizando el TID en servidor esclavo hasta que éste se encuentra "al día" con respecto al servidor maestro. A partir de este momento, el comando UPD solo se realizará a pedido del usuario conectado al servidor esclavo. También es posible para un usuario consultar el TID del maestro y el TID del esclavo sin hacer UPD, de forma tal, de saber "qué tan desactualizado" está el servidor esclavo (operación SID).

El resto de diseño de archivos y estructuras en memorias es idéntico al servidor maestro.

## 2.5 Implementación SBDB esclavo.

En un primer momento, se había optado por hacer un mismo programa que pudiese actuar –según su configuración- como maestro o como esclavo. Esto se evidencia en algunos parámetros que aún persisten en la configuración. La complejidad del software obligó a cambiar de estrategia y el servidor esclavo se implementó en un programa propio (*src/bdbsrvs.c*), el cual es muy similar al servidor maestro y se diferencian en lo indicado en la sección anterior.

Este programa reutiliza todo el código de las librerías *bdb.h*, *util.h*; cuenta con TPOOL y carga los parámetros de la aplicación de la misma forma:

**Tabla 2. Parámetros bdbsrvs (bdbsrvs.conf)**

| Parámetro | Descripción |
|---|---|
| server.ip | IP del servidor |
| server.puerto | Puerto TCP/IP del servidor |
| server.env | Carpeta en donde se almacenará todo el ambiente BDB |
| server.db | Nombre de la BD BDB |
| server.db.tipo | Tipo de BD BDB (btree, hash, queue, recno, etc) |
| server.log.dir | Carpeta donde se creará el master log y los archivos TID.log |
| server.cola | Cantidad de clientes TCP/IP que puede encolar |
| server.pool | Cantidad de hilos simultáneos que puede atender (TPOOL) |
| server.modo | Indica el modo de operación (maestro o esclavo) |
| server.maestro.ip | IP del servidor maestro |
| server.maestro.puerto | Puerto TCP/IP del servidor maestro |
| server.maestro.check | Cada cuantos segundos chequea a servidor maestro, 0 indica que no lo chequea |
| server.esclavo.X.ip<br>server.esclavo.X.puerto | Se debe indicar IP y puerto TCP/IP de este servidor que es numero X |
| server.numero | Número de servidor, debe ser unívoco y en este caso coincidir con X |

## 2.6 Empaquetado, publicación y distribución.

La aplicación desarrollada se denomina como proyecto *bdbsrv* el cual se distribuye bajo licencia GNU GPL y se encuentra su código fuente, documentación, etc., en el repositorio GitLab®; es posible descargarlo, compilarlo y utilizarlo, tal como se indica en la Figura 1. . Se incluyen los programas fuentes, sets de datos para pruebas, documentación básica, etc.; en una estructura de directorios tradicional de todo desarrollo en lenguaje C, en entorno GNU Linux®, utilizando las herramientas GNU Autotools [16] de la FSF. El software emite mensajes y está documentado en idioma español. Actualmente se encuentra aún en desarrollo, al momento de escribir este artículo, no obstante, la versión en repositorio puede utilizarse a modo de prueba, educativo, no productivo.

## 3 Resultados

Hasta el momento no se han obtenido resultados de implementaciones concretas en entornos de producción, teniendo en cuenta que esta es la primera versión del sistema, todas las pruebas realizadas han sido en entornos no productivos. No es relevante ni está dentro de los objetivos del proyecto de investigación que este software tenga aplicación inmediata en entornos productivos. El principal interés es educativo. Tampoco es relevante para la investigación cuestiones vinculadas con el rendimiento o con la seguridad, todas las pruebas se realizaron en un entorno controlado, dentro de una VPN y a su vez, dentro de un servidor Linux® virtualizado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se usaron redes locales y pruebas en un mismo computador con servidores virtualizados. Las pruebas realizadas no han tenido como objetivo medir el rendimiento del servidor o la replicación, sino hacer pruebas con lotes de 10, 100, 1000, 10000 transacciones generadas con $ *./make data* utilizando cliente *telnet* y automatizado a través de *expect* [17] permitiendo depurar errores, manteniendo la estabilidad de los servidores. Las pruebas han sido satisfactorias, sin pérdidas de datos ni caídas de servidores.

Se considera haber cumplido con los objetivos propuestos en el proyecto de investigación: embeber una BD BDB en una arquitectura *client-server*, implementar una API simple para el uso de un modelo de datos clave – valor, implementar un mecanismo de replicación de tipo maestro – esclavo asincrónico, proveer de una herramienta simple de utilizar y con muy bajos requerimientos de software y hardware, en el contexto de la enseñanza de BDD.

No se cuenta aún con una librería cliente que permita implementar aplicaciones y que éstas envíen datos binarios para almacenar y replicar a través de SBDB, al momento de escribir este artículo se está trabajando en ello. En este momento, es posible implementar aplicaciones que envíen datos no binarios. Todas las pruebas se han realizado utilizando *telnet* debido a esta limitación y a la necesidad de contar con una aplicación cliente para realizar pruebas durante el desarrollo e implementación.

## 4 Discusión

Los problemas de licencias e intereses corporativos relacionados con *dbm* han motivado nuevos desarrollos, como es el caso de LMDB [18], una nueva alternativa de BD clave – valor; en cuanto a este trabajo, su principal motivación es académica y no se trata de nuevo producto, sino de la posibilidad de uso de *dbm* en contextos distintos: *client – server* y distribuido, bajo una forma distinta de replicación y, en ambos casos, sin necesidad de que los clientes continúen dependiendo de *dbm*.

Los resultados obtenidos demuestran que el diseño propuesto es factible, que funciona y abre una alternativa a la migración y prueba de aplicaciones *legacy* basadas en *dbm*. En este sentido, no se puede obviar el hecho de que este trabajo está en su versión inicial y que requiere de la implementación de librería para facilitar la implementación de aplicaciones, así como también del desarrollo de un esquema de seguridad.

Desde el punto de vista académico, este desarrollo puede ser utilizado en prácticas de laboratorio, en asignaturas como BDD, para configurar replicaciones de BDD clave – valor, así como también el desarrollo de aplicaciones basadas en este modelo de datos.

Todo el desarrollo exhibe temas fundamentales en la enseñanza de BD, tales como: log de transacciones, *REDO*/*UNDO* de transacciones, escritura anticipada del log, etc. conceptos que son explicados en términos teóricos pero que el alumno no puede apreciar en una implementación real de código, a menos que esté dispuesto a naufragar en miles de líneas de código de un complejo SGBD; este trabajo permite enseñar estos conceptos y mostrar su implementación en un proyecto más pequeño. Si bien las estructuras de datos del sistema no son complejas, se debe ampliar la documentación con gráficos que expliquen la organización interna de los archivos.

## 5 Conclusión y Trabajo a Futuro

La historia de *dbm* ha provocado que muchos desarrollos del pasado no hayan podido ser actualizados o debieron migrar a otras BD clave – valor. Las opciones de replicación de *dbm* son limitadas para desarrollos que pretendan continuar bajo licencia SleepyCat. El presente trabajo se considera un aporte a la comunidad *dbm*, permitiendo la migración de aplicaciones *legacy* a otras arquitecturas de software que satisfagan los requerimientos de nuevos desarrollos.

La aplicación propuesta se considera un aporte a las opciones de replicación disponibles para *dbm*, alienta a su comunidad de usuarios a la implementación de sistemas distribuidos que permitan la evolución y desarrollo de este sistema, favorecidos por el tipo de licencia elegido y la posibilidad de continuar trabajando colaborativamente, ampliando este desarrollo desde el repositorio GitLab®.

Esta aplicación requiere de la implementación de herramientas adicionales para ser usado en un sistema de producción real, no obstante, los resultados obtenidos con las opciones básicas implementadas son muy alentadoras e indican su factibilidad de implementación en un sistema productivo real. La incorporación de herramientas adicionales de administración y seguridad facilitará el trabajo del administrador de la replicación, lo cual es relevante en BD de código abierto, en donde las mismas no incorporan en forma nativa la gestión de la replicación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se requiere el desarrollo de una librería que encapsule todo el protocolo de comunicaciones diseñado y que además permita el envío y recepción de datos binarios; esto facilitará el desarrollo de aplicaciones en distintos lenguajes de programación. Se podrían desarrollar aplicaciones gráficas, incluso aplicaciones web distribuidas que hagan uso de este software.

Es posible que se requiera ampliar el protocolo de comunicaciones, agregando nuevos comandos que faciliten la administración de la replicación.

Utilizando el mismo protocolo de comunicaciones, podría modificarse el software para que el mismo soporte otras bases de datos de tipo clave – valor, como podría ser el caso de la base de datos LMDB [18], que es el *back-end* de OpenLDAP (https://www.openldap.org/).

La aplicación es de valor académico (y ha sido su objetivo primario) para la enseñanza de BDD en cuanto a la fácil y rápida implementación de un sistema de BDD con mínimos requerimientos de software y hardware, que suelen ser los impedimentos habituales en este tipo de prácticas de laboratorio. También ofrece la posibilidad de ver la implementación real de varios conceptos relevantes en la enseñanza de BD.

## Agradecimientos

El autor agradece al Centro de Investigación, Docencia y Extensión en Tecnologías de la Información y la Comunicación, de la Universidad Nacional de Luján (CIDETIC https://cidetic.unlu.edu.ar/ ) por proveer recursos computacionales y de infraestructura necesarios para este proyecto.

## Referencias

[1] PostgreSQL 9.1 Manual, Chapter 25. High Availability, Load Balancing, and Replication, disponible en http://www.postgresql.org/docs/9.1/static/high-availability.html.

[2] Proyecto investigación “Replicación Maestro-Esclavo en Bases de Datos No SQL Clave-Valor Embebidas no Distribuidas”, Universidad Nacional de Luján, Depto. Ciencias Básicas, DISPCD-CD 13/24.

[3] Elmasri Ramez, Navathe Shamkant B., Sistemas de Base de Datos. Conceptos Fundamentales., Addison-Wesley Iberoamericana, 2da Edición, ISBN 0-201-65370-2, Pag. 2

[4] Silberschatz, Abraham; Korth, Henry F.; Sudarshan S., Fundamentos de Bases de Datos, 4ta.Ed., Ed. Mc Graw Hill, Madrid, 2002, ISBN: 0-07-228363-7, Pag. 17

[5] Ulrich, W. M. Legacy Systems: Transformation Strategies. Prentice Hall, 2002

[6] Ashton, Kevin. That “Internet of Things” Thing. RFID Journal, 22 junio 2009.

[7] Stallings, Williams; “Sistemas Operativos. Aspectos internos y principios de diseño”, Editorial Pearson Educación, Madrid, 2007, ISBN 978-84-205-4462-5, Pag.158-170

[8] Gray, Jim; Reuter, Andreas. Transaction Processing: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann, 1993.

[9] Bernstein, Philip A.; Hadzilacos, Vassos; Goodman, Nathan. Concurrency Control and Recovery in Database Systems. Addison-Wesley, 1987.

[10] Rahimi, Saeed K.; Haug, Frank S, Distributed Database Management Systems. A practical approach, John Wiley & Sons Inc. Publication, IEEE Computer Society, 2010, ISBN: 978-0-470-40745-5, Pag. 329-345

[11] Elmasri Ramez, Navathe Shamkant B., Sistemas de Base de Datos. Conceptos Fundamentales., Addison-Wesley Iberoamericana, 2da Edición, ISBN 0-201-65370-2, Cap. XIX, Pag. 580-595

[12] Kernighan Brian W., Ritchie Dennis M, El Lenguaje de Programación C, Segunda Edición, Pearson Educación, ISBN 968-880-205-0

[13] Brett Smith, A Quick Guide to GPLv3, Free Software Foundation, disponible en https://www.gnu.org/licenses/quick-guide-gplv3

[14] Blanchette, Jasmin, The Little Manual of API Design, Trolltech, a Nokia company, June 19, 2008, disponible en http://www4.in.tum.de/~blanchet/api-design.pdf

[15] Silberschatz, A., Galvin, P. B., & Gagne, G. (2006). Fundamentos de sistemas operativos (7ª ed.). México: Wiley. Cap. VI, Pag. 197

[16] Vaughan, G., Elliston, B., Tromey, T., & Taylor, I. (2000). GNU Autoconf, Automake, and Libtool. New Riders Publishing.

[17] Libes, Don. Exploring Expect: A Tcl-Based Toolkit for Automating Interactive Programs. O’Reilly Media, 1995.

[18] Chu, H. (2011). The Lightning Memory-Mapped Database (LMDB). Presentación en LDAPCon.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Ciencia de datos para la caracterización de pacientes con consumos problemáticos

*Silvia Scime[1], Gino Agostinelli[2], Gilda Suárez[3], Emmanuel Asan[4], Juan Miguel Moine[5], Cristian Bigatti[6]*
*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario*
*[1]scimesilvia@gmail.com, [2]ginoagostinelli5@gmail.com, [3]gildamsua@gmail.com, [4]asanemman@gmail.com, [5]juanmiguelmoine@gmail.com, [6]cristianbigatti@gmail.com*

## Resumen

*Luego de la pandemia por COVID-19 ha crecido enormemente la demanda en el ámbito de la salud mental, especialmente en el tratamiento de pacientes con adicciones o consumos problemáticos. Cuando los registros de estos tratamientos se encuentran digitalizados en una historia clínica electrónica, se genera un repositorio con una gran cantidad de información. En este contexto, la implementación de tareas de Ciencia de Datos permite el descubrimiento de "patrones ocultos", constituyendo una importante herramienta que potenciará la toma de decisiones del profesional sobre el tratamiento del paciente. En el presente trabajo se resumen los principales resultados obtenidos durante el análisis exploratorio realizado sobre una base de datos brindada por una Institución de la Ciudad de Buenos Aires especializada en adicciones y consumos problemáticos.*

## Introducción

El tratamiento de adicciones y consumos problemáticos representa un área muy importante en el campo de la salud mental. Según la Ley Argentina 26934, "Los consumos problemáticos pueden manifestarse como adicciones o abusos al alcohol, tabaco, drogas psicotrópicas —legales o ilegales— o producidos por ciertas conductas compulsivas de los sujetos hacia el juego, las nuevas tecnologías, la alimentación, las compras o cualquier otro consumo que sea diagnosticado compulsivo por un profesional de la salud" [1]. Durante la pandemia por COVID-19 y el confinamiento, el cambio abrupto de los hábitos cotidianos (ir a trabajar, a entrenar, etc.) y la incorporación de nuevas formas de abastecimiento (crecimiento exponencial de la modalidad "delivery", e incluso el denominado "stockeo") proporcionaron condiciones propicias para el incremento de casos, con consecuencias directas en la calidad de vida de las personas, su salud mental y las adicciones [2] [3].

En las Instituciones especializadas en esta problemática, los profesionales de la salud trabajan en forma interdisciplinaria (entre ellos psicólogos, psiquiatras, médicos clínicos) para lograr una pronta recuperación del paciente mediante terapias individuales y grupales, que además permitan mantener los resultados a largo plazo una vez logrado el alta y finalizado el tratamiento.

La aplicación de Ciencia de datos en el ámbito de adicciones y consumos problemáticos es emergente. En el año 2023, se publicó en [4] una revisión y análisis de estudios científicos recientes en la materia. Gran parte de ellos se encuentran enfocados en establecer relaciones entre diferentes variables y los consumos problemáticos (alcohol, drogas sintéticas, etc) [5]. En otras investigaciones, como en [6], se pudo determinar una aproximación a un modelo predictivo tanto con árboles de decisión como con redes neuronales, que permita conocer la posible tendencia de un usuario a consumir tabaco y alcohol, evidenciando la escasez de investigaciones orientadas al tratamiento del paciente.

Actualmente los profesionales ingresan un enorme volumen de datos en las historias clínicas electrónicas, con objetivos principalmente operativos y administrativos. Esta información podría ser aprovechada con fines estadísticos, y en un enfoque más avanzado, con técnicas de minería de datos.

La elaboración de diferentes modelos que permitan relacionar las características socioeconómicas del paciente con su consumo problemático podrían resultar útiles en campañas de prevención, constituyendo una herramienta complementaria para la toma de decisiones de los profesionales.

El caso de estudio corresponde a una Institución privada de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, especializada en programas ambulatorios para el tratamiento de pacientes con consumos problemáticos, la cual ha facilitado los datos registrados en la historia clínica electrónica para su análisis.

## Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo analizar las relaciones entre las variables socioeconómicas de un paciente y sus consumos problemáticos, para fortalecer la toma de decisiones durante el tratamiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Metodología

Se han evaluado 334 registros correspondientes a pacientes que han realizado el proceso de admisión en el periodo 01/2023 - 06/2024 (18 meses).

Durante el proceso de limpieza de datos, se han descartado 33 registros debido a la significativa cantidad de datos ausentes. Es decir, que la cantidad final de registros a evaluar fueron los correspondientes a 301 pacientes.

Luego de realizar un procesamiento de los datos disponibles, se han definido las variables detalladas en la Tabla 1.

En este conjunto de datos, las variables "consumo_sustancia" son booleanas e indican la presencia o ausencia de consumo de cada sustancia. La variable "policonsumo" se utiliza para especificar la conducta de consumo concurrente o simultáneo de dos o más sustancias al mismo tiempo, es decir, en un mismo episodio.

**Tabla 1.** Variables en estudio

| Variable | Tipo | Valores posibles |
|---|---|---|
| Edad | Numérica | [1 - 100] |
| Sexo | Categórica | [Masculino, Femenino] |
| consumo_alcohol | Booleana | True, False |
| consumo_marihuana | Booleana | True, False |
| consumo_cocaina | Booleana | True, False |
| consumo_drogassinteticas | Booleana | True, False |
| consumo_opiaceos | Booleana | True, False |
| consumo_nicotina | Booleana | True, False |
| consumo_anfetamina | Booleana | True, False |
| consumo_drogasdequirofano | Booleana | True, False |
| consumo_abusodemedicamentos | Booleana | True, False |
| consumo_abusodepsicofarmacos | Booleana | True, False |
| consumo_juegocompulsivo | Booleana | True, False |
| conducta_policonsumo | Booleana | True, False |
| intentos_suicidio | Booleana | True, False |
| sobredosis | Booleana | True, False |
| problemas_clinicos | Booleana | True, False |
| antecedente_causas_legales | Booleana | True, False |
| internacion_saludmental_reciente | Booleana | True, False |
| abuso_sexual | Booleana | True, False |
| accidentes_automovil_recientes | Booleana | True, False |
| cantidad_hijos | Numérica | [0-10] |
| estado_civil | Categórica | [Soltero,Casado, En Pareja, …] |
| nivel_escolaridad | Categórica | [Primario completo, secundario completo,..] |
| ocupación | Categórica | [estudia, trabaja, desempleado, …] |
| trabaja | Booleana | True, False |
| cant_Sustancias_consume | Numérica | [1-11] |
| tiene_hijos | Booleana | True, False |
| tiene_alertas | Booleana | True, False |

Las siguientes variables, han sido calculadas para enriquecer el análisis:

- *Tiene alertas (boolean):* esta variable indica la presencia de al menos uno de los siguientes campos: "intentos_suicidio","problemas_clínicos", "abuso_sexual", "antecedente_causas_legales","internación_salud_mental_reciente", "sobredosis".
- *Tiene_hijos (booleano):* columna derivada de "cantidad_de_hijos", donde se asigna "true" si el valor es mayor o igual a 1, y "false" en caso contrario.
- *Cant de sustancias que consume (numérica):* recuento de la cantidad de consumos problemáticos del paciente.
- *Ocupación (categórica):* esta columna se generó a partir de campos de texto libres relacionados a la profesión, y se completó con las siguientes categorías: trabaja, estudia, jubilado y desempleado.
- *Trabaja (booleana):* derivada de la variable anterior. Se asigna "true" si el valor de la columna es "trabaja".

Los datos fueron explorados con técnicas de análisis univariante y multivariante, en forma gráfica y numérica, utilizando el lenguaje Python en Google Colab.

## Resultados

Iniciamos el estudio con un análisis univariante de las variables en estudio. Como podemos ver en la Figura 1, la mayor parte de los pacientes son trabajadores activos, de estado civil "soltero" y de género "masculino".

```
Frecuencias de 'sexo':
m    229
f     72

Frecuencias de 'estado_civil':
soltero          218
divorciado        33
casado            29
en pareja         17
NaN                3
viuda              1

Frecuencia de 'trabaja':
si    198
no     55
NaN    48

Frecuencias de 'ocupación':
trabajador       198
NaN               48
desempleado       35
estudiante        16
jubilado           4

Frecuencias de 'tiene_alertas':
si    184
no    117
```

**Figura 1.** Análisis univariante de variables "sexo", "estado civil", "ocupación", "trabaja", "tiene alertas"

La edad promedio de los pacientes en tratamiento es de 37 años. Las medidas de posición de esta variable indicaron que el 75% de ellos son menores de 46 años. Por otro lado, en la Figura 2 se puede observar que la mayoría de los pacientes posee consumo problemático con el alcohol, mientras que más del 50% lo tiene con la marihuana y cocaína.

La cantidad promedio de sustancias o consumos problemáticos por paciente es de 3, con una notable

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



concentración de registros cercanos a dicho valor (Fig. 3). Son poco frecuentes los casos de pacientes con dependencia limitada a una única sustancia.

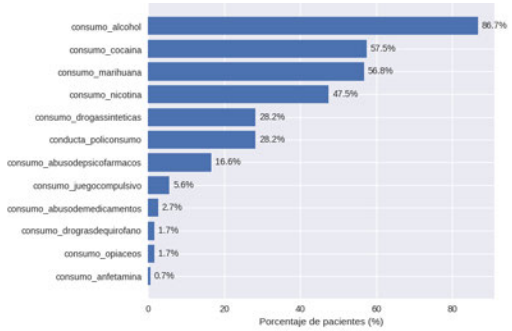



**Figura 2.** Prevalencia de consumos problemáticos

Cabe destacar que, si bien aproximadamente el 50 % de los pacientes presenta consumos problemáticos vinculados a tres o cuatro sustancias, ello no implica necesariamente que dichas sustancias sean consumidas de manera simultánea en un mismo episodio. Al analizar específicamente la variable "policonsumo", se observa que un 28 % de los casos refiere al consumo simultáneo de múltiples sustancias.

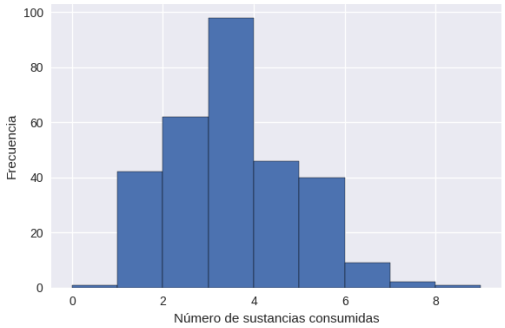



**Figura 3.** Histograma de la variable "cantidad de sustancias consumidas"

En términos multivariantes, se ha observado que el consumo de marihuana se encuentra estrechamente relacionado a la edad del paciente (Figura 4). La población de pacientes que consume marihuana es, en promedio, significativamente más joven que la población de pacientes que no la consume.

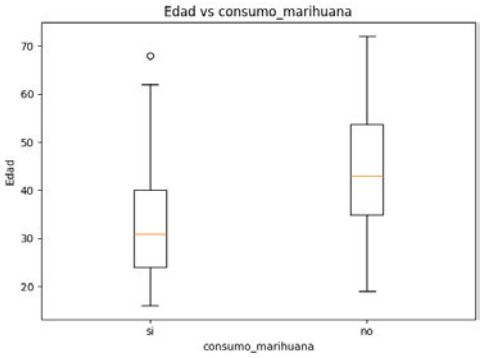



**Figura 4.** Distribución de la variable "edad" en base a "consumo marihuana"

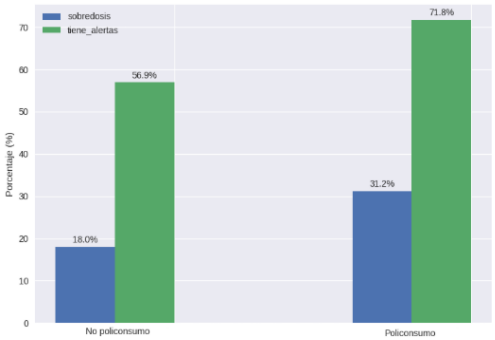



**Figura 5.** Variable "sobredosis" y "tiene_alertas" en función de "policonsumo"

Se ha observado que los pacientes que presentan conductas de policonsumo, exhiben una mayor proporción de registros con alertas (variable tiene_alertas) en comparación con aquellos que no manifiestan dicha conducta (72% frente a 57%, respectivamente). Asimismo, se ha observado una mayor incidencia de episodios de sobredosis en este grupo (Figura 5).

Analizando las relaciones entre consumos (consumos conjuntos) se ha procedido a elaborar la matriz de porcentajes de la Figura 6. En la diagonal principal de esta matriz se encuentran los porcentajes de pacientes para cada consumo, valores que se corresponden con los de la Figura 2.

Fuera de la diagonal principal, se analizan consumos en conjunto sobre el total de registros. A modo de ejemplo, podemos ver que el 51.5% de pacientes posee consumos problemáticos de alcohol y de marihuana (en simultáneo).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



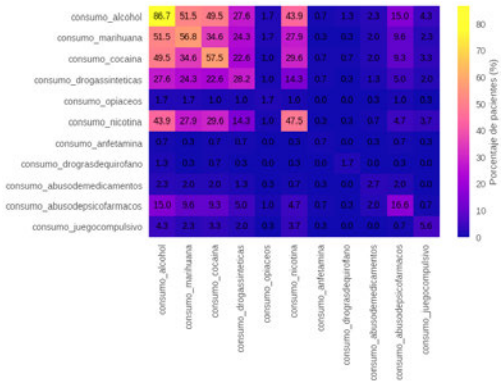



**Figura 6.** Matriz de porcentajes de consumos conjuntos

Podemos expresar cada valor *Mij* de esta matriz como:

$$M_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\left[x_{k,i} \times x_{k,j}\right] \times 100$$

Donde

- $x_{k,i}$ indica el consumo de la sustancia *i* por el paciente *k*, tomando los valores 0 o 1
- $x_{k,j}$ indica el consumo de la sustancia *j* por el paciente *k*, tomando los valores 0 o 1
- *N* es el tamaño de la muestra (301)

El núcleo de consumo alcohol, marihuana, cocaína y nicotina, aparece claramente como el área más intensa del mapa (valores >40 %), lo que sugiere un patrón de uso conjunto muy prevalente. En contraste, los consumos de psicofármacos, anfetaminas y opiáceos se presentan de manera más aislada, formando "islas" de co-consumo menores (<10 %), lo que apunta a subgrupos específicos que podrían beneficiarse de intervenciones dirigidas.

## Conclusión

En este trabajo, se ha logrado analizar los datos presentes en la historia clínica electrónica de un grupo de pacientes con consumos problemáticos, luego de un proceso de limpieza y transformación de los datos originales.

Inicialmente, se ha identificado que la mayoría de los pacientes son varones solteros que se encuentran laboralmente activos. Por lo tanto, este grupo representa una población clave a considerar en el diseño e implementación de campañas de prevención y concientización.

Muy pocos pacientes presentan consumo de una sola sustancia, pudiendo identificar el promedio en 3 consumos problemáticos por individuo. También se ha evidenciado una asociación significativa entre el consumo de marihuana y la edad de los pacientes: quienes consumen esta sustancia presentan, en promedio, una edad significativamente menor en comparación con quienes no la consumen. Esta información podría utilizarse para realizar las campañas dirigidas a ciertos grupos etarios. Los hallazgos preliminares presentados en este trabajo habilitan el avance hacia etapas analíticas de mayor complejidad, que incluirán la exploración de técnicas multivariadas, tales como el análisis de conglomerados (cluster analysis), con el objetivo de identificar agrupamientos significativos dentro de la población estudiada.

## Futuras líneas de investigación

El análisis de conglomerados se presenta como una herramienta apropiada para profundizar en la comprensión de los perfiles heterogéneos presentes en la población bajo estudio. Aplicar esta técnica permitiría identificar grupos de pacientes con características similares en cuanto a patrones de consumo, variables sociodemográficas, clínicas o psicológicas. Esta segmentación puede aportar información clave para el soporte a las decisiones en cuanto a intervenciones diferenciadas y más personalizadas, ajustadas a las necesidades específicas de cada subgrupo.

## Referencias

1. Plan integral para el abordaje de los consumos problemáticos. Recuperado el 01 de agosto de 2024 de https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26934-230505/texto.
2. Sixto Costoya, A., Lucas Domínguez, R., & Agulló Calatayud, V.: COVID-19 y su repercusión en las adicciones. Health and Addictions/Salud Y Drogas, 21(1). (2021).
3. Llorens N, Brime B, Molina M.: Impacto de la COVID-19 en el consumo de sustancias y comportamientos con potencial adictivo: encuesta del Observatorio Español de las Drogas y Adicciones: e202112198. Revista Española de Salud Pública, 95, 14-páginas (2021)
4. Bijoy Chhetri, Lalit Mohan Goyal, Mamta Mittal: How machine learning is used to study addiction in digital healthcare: A systematic review, International Journal of Information Management Data Insights, Volume 3, Issue 2, 2023, 100175, ISSN 2667-0968. (2023)
5. Jiménez R, Anupol J, Cajal B, Gervilla E.: Data mining techniques for drug use research. Addictive Behaviors Reports, 8, 128-135 (2018)
6. Valdiviezo-Diaz, P., et al..: Aplicación de técnicas de minería de datos para la predicción del consumo de tabaco y alcohol en estudiantes universitarios. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (E32), 242-255. (2020)

*Capítulo*

# 3

# *Educación en Ingeniería*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# El Impacto de la Inteligencia Artificial en el Desarrollo de Habilidades Cognitivas y Socioemocionales: Una Perspectiva Psicosocial para Profesores

*Sergio Daniel Conde. Universidad Argentina John F Kennedy sconde@kennedy.edu.ar*

## Resumen

*La investigación examina la influencia de la Inteligencia Artificial (IA) en el desarrollo de las habilidades cognitivas y socioemocionales de los individuos, particularmente desde la óptica de la psicología social. Se analiza cómo la creciente integración de la IA en la vida cotidiana puede afectar el pensamiento crítico, la creatividad, la comunicación interpersonal y la inteligencia emocional. Se identifican riesgos como la dependencia tecnológica y la posible atrofia de ciertas habilidades humanas debido a la automatización. La discusión se centra en la necesidad de abordar estos desafíos para fomentar un desarrollo humano integral en la era digital. Se presentan hallazgos que validan estas preocupaciones, ofreciendo una base para futuras investigaciones y estrategias de mitigación.*

*Palabras Claves: Inteligencia Artificial. Habilidades Cognitivas. Habilidades Socioemocionales. Psicología Social. Dependencia Tecnológica*

## Introducción

El vertiginoso avance de la Inteligencia Artificial (IA) ha redefinido numerosos aspectos de la existencia humana, desde la interacción social hasta los procesos educativos y laborales. En este panorama de digitalización acelerada, la IA se ha imbricado en nuestras herramientas cotidianas, plataformas de aprendizaje y sistemas de comunicación, alterando fundamentalmente la manera en que las personas aprenden, interactúan y se desarrollan. En paralelo, la psicología social ha investigado profundamente cómo el entorno influye en los individuos, estudiando fenómenos como la conformidad y la percepción social. La confluencia de la omnipresencia de la IA y los principios de la influencia social impone la necesidad de analizar cómo esta tecnología modela no solo nuestras conductas, sino también la evolución de nuestras capacidades cognitivas y emocionales.

Este estudio se propone explorar el impacto de la IA en el desarrollo de habilidades cognitivas y socioemocionales, con un enfoque particular en cómo la automatización de tareas y la reducción de la interacción social mediada por la tecnología pueden influir en el pensamiento crítico, la creatividad, y las capacidades interpersonales e intrapersonales. La hipótesis central es que una dependencia excesiva de la IA o una implementación inadecuada podrían menoscabar el desarrollo equilibrado de estas habilidades esenciales.

El Objetivo General es:

Analizar el impacto de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de las habilidades cognitivas y socioemocionales de los individuos, desde la perspectiva de la psicología social, para identificar desafíos y proponer estrategias que promuevan un desarrollo humano integral en la era digital.

Los Objetivos Específicos son:

Identificar cómo el uso de herramientas de Inteligencia Artificial influye en el desarrollo del pensamiento crítico y la capacidad de resolución autónoma de problemas en estudiantes universitarios.

Evaluar la percepción de docentes universitarios sobre el impacto de la Inteligencia Artificial en las habilidades de comunicación interpersonal y la creatividad de sus estudiantes.

Determinar la relación entre el uso frecuente de plataformas de Inteligencia Artificial y los niveles de ansiedad y estrés en estudiantes universitarios.

Proponer acciones concretas para mitigar los posibles efectos negativos de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de la inteligencia emocional de los estudiantes en el ámbito educativo.

La Hipótesis

La dependencia excesiva de la Inteligencia Artificial en el ámbito educativo y social genera un impacto negativo significativo en el desarrollo de habilidades cognitivas y socioemocionales

## Marco Teórico

Para comprender el impacto de la IA en las habilidades cognitivas y socioemocionales, es fundamental establecer un marco teórico que abarque la naturaleza de la IA, las teorías de las inteligencias múltiples y los principios de la psicología social en relación con la tecnología.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Inteligencia Artificial (IA) y su Evolución**

La Inteligencia Artificial se define como el campo de la informática que busca crear sistemas capaces de realizar tareas que tradicionalmente requieren cognición humana, como el aprendizaje, la resolución de problemas, el reconocimiento de patrones y la comprensión del lenguaje natural [1]. La IA ha evolucionado desde sistemas basados en reglas a modelos de Machine Learning y Deep Learning, que permiten a las máquinas aprender y mejorar de forma autónoma a partir de grandes volúmenes de datos [2]. Esta omnipresencia tecnológica no solo optimiza procesos, sino que también introduce nuevas formas de interacción entre individuos y la información. Sherry Turkle [3] ha destacado cómo esta creciente dependencia tecnológica puede conducir a una paradoja de "estar solos juntos", donde la conexión mediada por la tecnología reemplaza la interacción humana profunda.

Desde una perspectiva más cercana, autores como José María Cabra-Torres y Antonio Miguel Castillo-Márquez [4], en su obra sobre las implicaciones éticas de la IA, han advertido sobre la necesidad de una reflexión profunda acerca de cómo esta tecnología reconfigura las relaciones humanas y la percepción de la realidad, afectando la autonomía individual y la cohesión social. Su análisis sugiere que la IA no es neutral, sino que moldea nuestras interacciones y, por ende, nuestras habilidades sociales.

**Dentro de la IA, emergen conceptos claves:**

IA Generativa: Se enfoca en la creación de contenido original (texto, imágenes, audio, video), planteando desafíos para la inteligencia creativa y el pensamiento original humano.

Sesgos Algorítmicos: La tendencia de los algoritmos de IA a reflejar y amplificar sesgos existentes en los datos de entrenamiento, lo que puede llevar a resultados discriminatorios o injustos. Al respecto, Gemma Galdón Clavell [5] ha profundizado en cómo estos sesgos pueden replicar y exacerbar desigualdades sociales, impactando la percepción y el comportamiento de los usuarios.

Explicabilidad de la IA (XAI): La necesidad de desarrollar métodos para que los sistemas de IA sean más transparentes y sus decisiones puedan ser interpretadas por humanos, para fomentar la confianza y la comprensión de su impacto.

Habilidades Cognitivas y Socioemocionales Fundamentales

Aunque el concepto de "inteligencias múltiples" de Howard Gardner [6], [7] no se abordará directamente en este nuevo paper, se hará énfasis en habilidades cognitivas y socioemocionales que son cruciales para el desarrollo humano y que son susceptibles a la influencia de la IA. Estas incluyen:

Pensamiento Crítico: La capacidad de analizar información de manera objetiva, evaluar argumentos y formar juicios razonados. La delegación de tareas de análisis a la IA puede, paradójicamente, reducir la ejercitación de esta habilidad.

Creatividad: La habilidad de generar ideas originales, soluciones innovadoras y perspectivas novedosas [8].

Habilidades Lingüísticas y de Comunicación: La capacidad de usar el lenguaje de manera efectiva, tanto oralmente como por escrito, para expresarse y comprender a los demás, incluyendo la comunicación no verbal.

Habilidades Lógico-Matemáticas: La capacidad para el razonamiento deductivo e inductivo, la resolución de problemas numéricos y el pensamiento abstracto.

Inteligencia Interpersonal: La capacidad de comprender y relacionarse eficazmente con otras personas, incluyendo la empatía y la negociación [9].

Inteligencia Intrapersonal: La habilidad para el autoconocimiento, la reflexión sobre las propias emociones, motivaciones y capacidades, y la autorregulación.

La creciente delegación de tareas cognitivas a la IA puede conducir a un déficit de ejercitación cognitiva, donde el uso extensivo de herramientas automáticas reduce la necesidad de ejercitar habilidades mentales específicas. Además, la plasticidad cerebral podría redirigirse hacia habilidades de interacción con la máquina, posiblemente en detrimento de habilidades sociales o intrapersonales más complejas. Esto podría generar un desarrollo asincrónico de habilidades, potenciando algunas asistidas por IA mientras otras se estancan. Juan Carlos Tedesco [10], si bien no se refería específicamente a la IA, ya alertaba sobre la necesidad de desarrollar un pensamiento crítico frente a la información en la sociedad de la información, un concepto más relevante que nunca ante la proliferación de contenidos generados por IA.

**Psicología Social y la Influencia del Entorno Tecnológico**

La Psicología Social estudia cómo los pensamientos, sentimientos y comportamientos de los individuos son influenciados por la presencia de otros [11], [12]. En el contexto actual, la IA se convierte en un agente de influencia social, con algoritmos de recomendación y sistemas de personalización que no solo filtran la información, sino que también pueden moldear percepciones, actitudes y comportamientos [13].

Nuevos conceptos en psicología social relacionados con la tecnología incluyen:

Influencia Algorítmica: Cómo los algoritmos no solo presentan información, sino que activamente guían y modifican el comportamiento, las preferencias y las actitudes de los usuarios. Evgeny Morozov [14], en su crítica a las soluciones tecnológicas para problemas sociales, ya señalaba cómo las plataformas digitales ejercen una sutil pero profunda influencia en nuestras vidas, controlando el acceso a la información y nuestras interacciones.

Aislamiento Social Mediado por la Tecnología: La paradoja de que, si bien la IA y las redes sociales prometen

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



conexión, pueden llevar al aislamiento al reducir la interacción presencial y la práctica de habilidades sociales críticas.

Fatiga de Decisión Algorítmica: La delegación constante de la toma de decisiones a la IA puede reducir la capacidad de los individuos para tomar decisiones por sí mismos, disminuyendo la autonomía de pensamiento.

Paradoja de la Automatización: Cuanto más eficiente se vuelve una máquina, menos capacitados pueden volverse los operadores humanos para realizar esas tareas manualmente o comprender los procesos subyacentes.

La interacción con asistentes de IA, aunque carente de emociones humanas, puede generar una forma de relación que tiene implicaciones psicosociales, afectando el desarrollo de la empatía y la comprensión de señales no verbales [15]. Mariana Maggio [16], al reflexionar sobre la enseñanza en la era digital, ha enfatizado la importancia de que la tecnología sea una herramienta para potenciar el pensamiento humano, y no un sustituto de procesos cognitivos complejos o de la interacción social enriquecedora.

Intersección de IA, Habilidades Cognitivas/Socioemocionales y Psicología Social

La confluencia de la IA y las habilidades humanas, mediada por los principios de la psicología social, sugiere un escenario complejo. La automatización de tareas cognitivas podría reducir la necesidad de ejercitar ciertas habilidades, llevando a una posible atrofia. Por ejemplo, la dependencia en herramientas de traducción automática podría limitar el desarrollo de la habilidad lingüística, y la automatización de cálculos complejos podría disminuir la ejercitación de la habilidad lógico-matemática.

Desde una perspectiva psicosocial, la interacción con la IA también presenta riesgos. La homogeneización de los aprendizajes, donde los algoritmos sugieren rutas de aprendizaje estandarizadas [17], podría limitar la diversidad de pensamiento y enfoques creativos. La dependencia tecnológica podría erosionar la autonomía y la habilidad intrapersonal al reducir la introspección y la autorregulación. Además, la falta de comprensión de emociones y sentimientos por parte de la IA subraya una brecha significativa que puede afectar el desarrollo de la habilidad interpersonal y la empatía.

## Análisis de Resultados

Para desarrollar el análisis de Resultados se hicieron encuestas a Docentes Universitarios con preguntas cerradas donde se puede elegir una respuesta o varias respuestas.

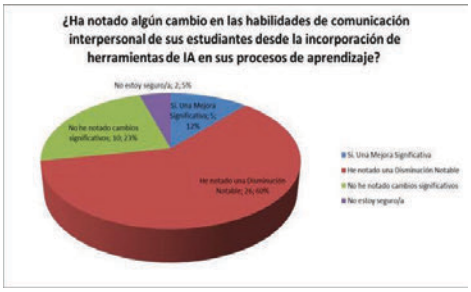



Figura 1*: Cambios en las habilidades de comunicación interpersonal.*

El gráfico revela la percepción de los docentes sobre el impacto de la IA en las habilidades de comunicación interpersonal de sus estudiantes, basándose en 43 respuestas. La mayoría significativa, un 60% (26 respuestas), ha notado una disminución notable en estas habilidades. Este hallazgo crucial apoya la hipótesis de que la reducción de la interacción humana directa, mediada por la tecnología, puede mermar las oportunidades para practicar la empatía, la comunicación no verbal y las habilidades de negociación. Un 23% no ha notado cambios significativos, y un sorprendente 12% ha observado una mejora significativa, posiblemente debido a nuevas formas de colaboración asistidas por IA. La implicación principal es la preocupación por el aislamiento social mediado por la tecnología, consistente con la teoría de Turkle [3] sobre "estar solos juntos."




Figura 2: *Impacto del uso de las herramientas de Inteligencia Artificial*

El gráfico analiza cómo el uso de herramientas de IA ha afectado la capacidad de los estudiantes para desarrollar pensamiento crítico y resolver problemas de manera autónoma, a partir de 43 respuestas. Los resultados son contundentes: un 35% (15 respuestas) considera que la IA ha disminuido significativamente la capacidad de pensamiento crítico, y otro 35% (15 respuestas) indica que ha afectado en cierta medida la autonomía. Esto suma un 70% de preocupación mayoritaria sobre el impacto negativo en estas capacidades cognitivas fundamentales. Las implicaciones validan la hipótesis de que la automatización de tareas y la generación de contenido por IA podrían llevar a una disminución en la ejercitación de habilidades clave, resonando con conceptos como la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



"fatiga de decisión algorítmica" y la "paradoja de la automatización".

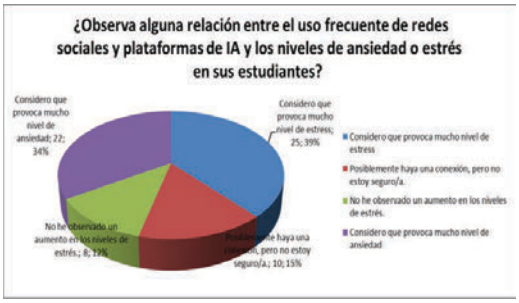



Figura 3: *Impacto de las redes sociales y las plataformas de Inteligencia Artificial*.

En el gráfico se explora la relación entre el uso frecuente de redes sociales y plataformas de IA y los niveles de ansiedad o estrés en los estudiantes, con un total de 65 respuestas. Los docentes perciben un impacto negativo significativo: el 39% (25 respuestas) considera que provocan mucho nivel de estrés, y el 34% (22 respuestas) que provocan mucho nivel de ansiedad. Estos porcentajes combinados subrayan una preocupación predominante sobre el bienestar emocional de los estudiantes en la era digital. Las implicaciones conectan directamente con conceptos de psicología social como la influencia algorítmica y el aislamiento social mediado por la tecnología, señalando una preocupación significativa por los efectos psicosociales negativos del entorno digital.




Figura 4: *Amenazas de Inteligencias múltiples por el desarrollo de Inteligencia Artificial*

Con 79 respuestas, el gráfico indaga sobre qué tipo de habilidad se percibe como más amenazada por el desarrollo de la IA. La creatividad es vista como la más amenazada, con un 38% (30 respuestas), lo cual se alinea con la preocupación de que la generación automática de contenidos por IA podría reducir la necesidad de pensamiento original y creativo. Le sigue de cerca la habilidad interpersonal, con un 32% (25 respuestas), reforzando la idea de que la interacción constante con máquinas podría limitar las habilidades sociales y la empatía. La habilidad intrapersonal es vista como amenazada por el 19% de los encuestados, sugiriendo una preocupación por la reducción de la autorreflexión. Los resultados validan la hipótesis del estudio sobre las habilidades más susceptibles a ser perjudicadas por la IA, especialmente la creativa, interpersonal e intrapersonal.

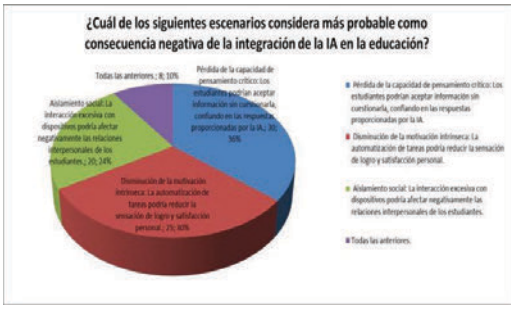



Figura 5: *Impacto negativo del uso de Inteligencia Artificial en el ámbito educativo*

Basado en 83 respuestas, el gráfico explora los impactos negativos del uso de la IA en el ámbito educativo. La pérdida de capacidad de pensamiento crítico es la preocupación más destacada, con un 36% de las respuestas, lo que refuerza la idea de que la IA puede menoscabar la autonomía de pensamiento. La disminución de la motivación intrínseca ocupa el segundo lugar con un 30%, sugiriendo que la facilidad de acceso a soluciones a través de la IA podría reducir el impulso interno de los estudiantes para aprender y resolver problemas por sí mismos. El aislamiento social es considerado un impacto relevante por el 24%. Estos resultados se alinean con las hipótesis del estudio sobre la homogeneización de los aprendizajes y la dependencia tecnológica, donde la disminución de la motivación intrínseca es crítica para el desarrollo de la habilidad intrapersonal y la autonomía de aprendizaje.

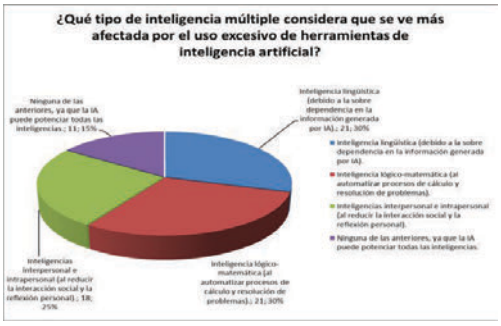



Figura 6: *Inteligencia Múltiple que se encuentra afectada por el uso de la Inteligencia Artificial*

El gráfico muestra qué habilidades se perciben como más afectadas por el uso de la IA. Las habilidades lingüística y lógico-matemática son señaladas como las más afectadas, ambas con un 30% de las respuestas. Esto

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sugiere que la automatización de tareas relacionadas con el lenguaje, cálculos y razonamiento abstracto podría estar impactando directamente en la ejercitación de estas habilidades. Las habilidades interpersonales e intrapersonales les siguen con un 25% cada una, validando las preocupaciones sobre la reducción de la interacción social y la autorreflexión. Este gráfico reafirma la hipótesis del "déficit de ejercitación cognitiva".

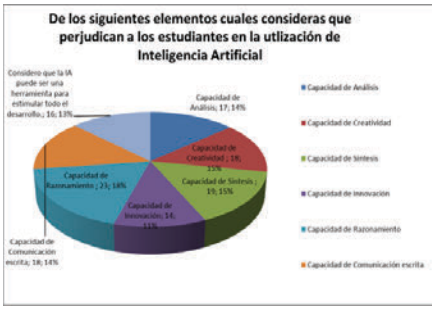



Figura 7: *Elementos que perjudican a los estudiantes en la utilización de Inteligencia Artificial.*

El gráfico muestra la percepción de los encuestados sobre qué elementos perjudican a los estudiantes en la utilización de IA. La capacidad de razonamiento es el elemento más señalado como perjudicado, con un 18%. Le siguen la capacidad de síntesis y la capacidad de creatividad, ambas con un 15%. La capacidad de análisis y la capacidad de comunicación escrita se sitúan en un 14% cada una. Estos resultados complementan hallazgos anteriores al identificar áreas específicas de desarrollo cognitivo vulnerables al uso de la IA, reforzando las conclusiones sobre el impacto en las habilidades lógico-matemática, lingüística y creativa.

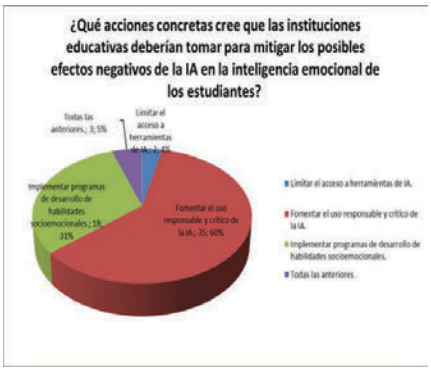



Figura 8*: Acciones concretas para mitigar aspectos negativos en la Inteligencia Emocional de los estudiantes*.

El gráfico presenta las acciones concretas que las instituciones educativas deberían tomar para mitigar los posibles efectos negativos de la IA en la inteligencia emocional de los estudiantes. La acción más apoyada es "Fomentar el uso responsable y crítico de la IA", con un 60% de las respuestas, sugiriendo una fuerte creencia en la educación y la concientización. "Implementar programas de desarrollo de habilidades socioemocionales" es la segunda opción más elegida, con un 31%, indicando la necesidad de un enfoque holístico. Estos resultados ofrecen direcciones claras para futuras intervenciones y políticas educativas, subrayando la importancia de educar a los estudiantes para que sean usuarios reflexivos y conscientes de la IA, y de fortalecer las habilidades humanas.

## Discusión

Los resultados del presente estudio, en línea con la hipótesis planteada, confirman la existencia de un impacto multifacético de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de las habilidades cognitivas y socioemocionales de los estudiantes, según la percepción de los docentes universitarios. La evidencia sugiere que, si bien la IA ofrece herramientas potentes, su uso indiscriminado o no supervisado puede generar consecuencias adversas que merecen una profunda consideración.

La disminución percibida en el pensamiento crítico y la autonomía de resolución de problemas (Figura 2) se alinea con las advertencias de Tedesco [10] sobre la necesidad de formar ciudadanos críticos en la sociedad de la información. La facilidad con la que la IA puede generar respuestas o soluciones completas podría estar desincentivando el proceso cognitivo de análisis, síntesis y razonamiento profundo en los estudiantes. Esto no solo afecta la capacidad de generar conocimiento original, sino también la habilidad de evaluar la veracidad y el rigor de la información, un aspecto crucial en la era de la desinformación.

La preocupación por la reducción de la comunicación interpersonal y la creatividad (Figuras 1 y 4) resuena con las observaciones de Turkle [3] sobre el "estar solos juntos" y la paradoja de la conexión mediada por la tecnología. La interacción constante con dispositivos y la menor exposición a situaciones de comunicación cara a cara pueden limitar el desarrollo de habilidades sociales complejas, como la lectura de señales no verbales, la empatía y la negociación. La IA generativa, por otro lado, aunque facilita la producción de contenido, podría, irónicamente, mermar la chispa de la originalidad humana si los estudiantes se vuelven meros "curadores" de outputs algorítmicos en lugar de creadores. Esto se relaciona con la "fatiga de decisión algorítmica" y la "paradoja de la automatización", donde la delegación excesiva a la máquina reduce la competencia humana [15].

El incremento percibido en los niveles de ansiedad y estrés (Figura 3) es una señal de alerta sobre el bienestar socioemocional de los estudiantes. Si bien el estudio no

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



profundiza en las causas específicas, es plausible que la presión de rendimiento en un entorno digitalizado, la sobrecarga de información y la constante exposición a redes sociales y plataformas de IA puedan contribuir a un ambiente de alta exigencia y comparación social, afectando la salud mental. Esto es coherente con las preocupaciones sobre la influencia algorítmica [13], [14] que puede moldear las percepciones y comportamientos de forma sutil, pero impactante.

La identificación de habilidades lingüísticas y lógico-matemáticas como las más afectadas (Figura 6) sugiere que incluso en áreas tradicionalmente asociadas con la cognición pura, la IA puede inducir un "déficit de ejercitación". Si las herramientas de traducción automática o los asistentes de cálculo se utilizan como sustitutos en lugar de complementos, los estudiantes podrían perder la oportunidad de desarrollar una comprensión profunda de estas disciplinas.

Las acciones propuestas por los docentes para mitigar estos impactos negativos (Figura 8), especialmente el fomento del uso responsable y crítico de la IA y la implementación de programas de desarrollo socioemocional, señalan un camino hacia adelante. Reconocen que la solución no radica en prohibir la IA, sino en educar para una interacción consciente y estratégica con ella. Esto implica no solo enseñar a los estudiantes cómo usar la IA, sino también cuándo y por qué, fomentando una metacognición sobre su propio proceso de aprendizaje y desarrollo. La propuesta de Maggio [16] de que la tecnología debe enriquecer la enseñanza y no reemplazar procesos humanos clave es más relevante que nunca.

Las limitaciones de este estudio radican en su dependencia de la percepción de los docentes, lo cual, aunque valioso, podría no reflejar la experiencia completa de los estudiantes. Futuras investigaciones podrían beneficiarse de estudios longitudinales, investigaciones cualitativas con estudiantes y mediciones directas de habilidades para validar y ampliar estos hallazgos. No obstante, este estudio proporciona una base sólida para la discusión y la acción en el ámbito educativo y social.

## Conclusiones

El presente estudio se propuso como objetivo general analizar el impacto de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de las habilidades cognitivas y socioemocionales de los individuos desde la perspectiva de la psicología social. Los hallazgos derivados del análisis de gráficos, basados en las percepciones de docentes universitarios, ofrecen un respaldo significativo a la hipótesis planteada: la dependencia excesiva de la IA en los ámbitos educativo y social sí genera un impacto negativo considerable en el desarrollo de habilidades cognitivas y socioemocionales, lo que se manifiesta en un desarrollo asincrónico de habilidades y, preocupantemente, en un aumento de los niveles de ansiedad y estrés.

Específicamente, en relación con los objetivos planteados, se ha podido:

Identificar la influencia de la IA en el pensamiento crítico y la autonomía: Los datos revelan que la IA ha disminuido significativamente la capacidad de pensamiento crítico y afectado en cierta medida la autonomía de los estudiantes (Figura 2). Esto sugiere que la automatización de tareas cognitivas, si bien agiliza procesos, puede limitar las oportunidades para que los estudiantes ejerciten y fortalezcan estas capacidades esenciales.

Evaluar el impacto en la comunicación interpersonal y la creatividad: Una mayoría significativa de docentes ha notado una disminución notable en las habilidades de comunicación interpersonal (Figura 1) y considera la creatividad como la habilidad más amenazada (Figura 4). Estos hallazgos validan la preocupación de que la interacción mediada por la tecnología y la generación automática de contenidos por IA pueden mermar la práctica de habilidades sociales y la necesidad de pensamiento original.

Determinar la relación con la ansiedad y el estrés: Los resultados muestran una clara percepción de que las redes sociales y plataformas de IA contribuyen a altos niveles de estrés y ansiedad en los estudiantes (Figura 3). Esto subraya la importancia de considerar el bienestar emocional como un componente crucial del impacto psicosocial de la IA.

Proponer acciones para mitigar efectos negativos en la inteligencia emocional: La alta valoración del "fomento del uso responsable y crítico de la IA" y la "implementación de programas de desarrollo de habilidades socioemocionales" (Figura 8) indica la necesidad urgente de estrategias educativas que equipen a los estudiantes con las herramientas para interactuar de forma constructiva con la tecnología.

En síntesis, la profunda integración de la Inteligencia Artificial en nuestra sociedad, si bien ofrece ventajas innegables, plantea desafíos significativos para el desarrollo holístico de las habilidades humanas. La homogeneización de los aprendizajes y la creciente dependencia tecnológica emergen como riesgos palpables que exigen una atención urgente desde la psicología social. Si no se abordan, estas tendencias podrían llevar a una disminución de la diversidad cognitiva, la creatividad y la autonomía de pensamiento, cualidades esenciales para la adaptación y la innovación en un mundo en constante cambio.

## Agradecimientos

Se agradece a todos los Profesores Universitarios que participaron de la Encuesta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Referencias

[1] Russell y P. Norvig, Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno, 3ra ed. Pearson Educación, 2010. ISBN: 978-84-205-5595-9.

[2] I. Goodfellow, Y. Bengio, y A. Courville, Deep Learning. MIT Press, 2016. ISBN: 978-0-262-03561-3.

[3] S. Turkle, Alone together: Why we expect more from technology and less from each other. Basic Books, 2011. ISBN: 978-0-465-02328-9.

[4] J. M. Cabra-Torres y A. M. Castillo-Márquez, Inteligencia artificial: Desafíos éticos y sociales. Editorial Iberoamericana, 2020. ISBN: 978-84-12345-67-0.

[5] G. Galdón Clavell, Algoritmos y sesgos: Por qué la tecnología no es neutral. Editorial Ariel, 2020. ISBN: 978-84-344-3256-1.

[6] H. Gardner, Inteligencias múltiples: La teoría en la práctica, 2da ed. Paidós, 1983. ISBN: 978-84-493-0868-8.

[7] H. Gardner, La inteligencia reformulada: Las inteligencias múltiples en el siglo XXI, 1ra ed. Paidós, 1999. ISBN: 978-84-493-0797-1.

[8] M. Csikszentmihalyi, Creatividad: El fluir y la psicología del descubrimiento y la invención, 4ta ed. Paidós, 1996. ISBN: 978-84-493-0294-5.

[9] R. W. Picard, Affective Computing. MIT Press, 1997. ISBN: 978-0-262-16170-1.

[10] J. C. Tedesco, Educación y sociedad del conocimiento: Un nuevo desafío para la educación latinoamericana. Fondo de Cultura Económica, 2000. ISBN: 978-950-557-418-7.

[11] S. E. Asch, "Estudios sobre la independencia y conformidad: Una minoría contra una mayoría unánime," Psychological Monographs: General and Applied, vol. 70, no. 9, pp. 1–70, 1956. ISBN: 978-0-123456-78-9.

[12] S. Milgram, Obediencia a la autoridad: Una perspectiva experimental, 3ra ed. Desclée de Brouwer, 1974. ISBN: 978-84-330-0504-2.

[13] E. Pariser, El filtro burbuja: Cómo la red decide lo que leemos y lo que pensamos, 1ra ed. Taurus, 2011. ISBN: 978-84-306-0814-7.

[14] E. Morozov, El desengaño de internet: Los mitos de la libertad en la red, 1ra ed. Destino, 2011. ISBN: 978-84-233-4484-9.

[15] C. O'Neil, Armas de destrucción matemática: Cómo el Big Data aumenta la desigualdad y amenaza la democracia, 1ra ed. Capitán Swing, 2016. ISBN: 978-84-945417-6-8.

[16] M. Maggio, Enriquecer la enseñanza: Los ambientes con alta disposición tecnológica como oportunidad. Paidós, 2018. ISBN: 978-950-12-9694-5.

[17] Por ejemplo, véase [13], pp. 50-70.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aplicación de ADE en la formación de grado: una experiencia situada desde el rol estudiantil

Nunin Capra, Juan Carlos[1], Valeria C. Sandobal Verón[1], Verónica A. Bollati[2]

{juancito.jcnc, valesandobal, vbollati}@gmail.com

[1,2] *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia*

[1] *Grupo de Investigación en Educación en Ingeniería (GIESIn)*

[2]*Centro de Investigación Aplicada en Tecnología de la Información y las Comunicaciones (CInApTIC)*

[2]*CONICET*

## Resumen

*Este artículo presenta una reflexión personal sobre la aplicación del enfoque Agile Driven Education (ADE) durante el último año de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. A partir de la experiencia directa en distintas materias, se analizan las técnicas implementadas en torno a las tres dimensiones propuestas por ADE: equipo, tiempo y trabajo. El estudio examina cómo estas prácticas impactaron en la dinámica grupal, la planificación del aprendizaje y la adquisición de competencias transversales. Los resultados evidencian una aplicación desigual del enfoque, destacándose la dimensión trabajo como la de mayor despliegue metodológico. Finalmente, se discuten las fortalezas y limitaciones observadas, proponiendo recomendaciones para una implementación más efectiva del modelo en contextos universitarios.*

Graphical Abstract




**Palabras clave**

Agile Driven Education, enseñanza de ingeniería, aprendizaje activo, técnicas ágiles, experiencia estudiantil.

## 1. Introducción

La incorporación de prácticas ágiles en el ámbito educativo ha cobrado relevancia en los últimos años [1][2], impulsando propuestas que buscan modernizar la enseñanza y acercarla a las dinámicas del mundo profesional. En este contexto, el enfoque Agile Driven Education (ADE) propone trasladar principios de agilidad al diseño pedagógico, promoviendo la autoorganización, la iteración y la participación activa del estudiante.

Si bien existen lineamientos teóricos para su implementación, la evidencia empírica sobre su aplicación concreta en carreras de ingeniería es aún limitada, especialmente desde la perspectiva del estudiantado. Este trabajo surge con el objetivo de analizar críticamente la aplicación de ADE a partir de una experiencia personal, recogida durante el cursado del primer semestre del último año de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información.

El análisis se orienta a reconocer las técnicas asociadas a cada dimensión de ADE, equipo, tiempo y trabajo, examinando la utilidad que se percibe en su aplicación y el grado de coherencia existente entre el enfoque propuesto y su puesta en práctica. Esta reflexión, construida desde la experiencia del estudiantado, pretende contribuir al fortalecimiento de prácticas pedagógicas más consistentes y significativas, que no solo promuevan la organización del proceso formativo, sino que también reflejen de manera más fiel las necesidades y vivencias de quienes lo atraviesan.

El artículo se organiza en tres secciones: primero, se presenta el marco teórico de ADE; luego, se describe la experiencia vivida en relación con sus tres dimensiones; y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



finalmente, se exponen las conclusiones y reflexiones sobre su aplicación.

## 2. Background - ADE

En esta sección se presenta Agile Driven Education (ADE), un marco de trabajo que propone la incorporación de prácticas ágiles como estrategias para el proceso de enseñanza y aprendizaje. Bajo esta perspectiva, el aprendizaje adquiere un rol central y se reconoce a las personas como el principal activo del proceso educativo. El objetivo fundamental de ADE es que la responsabilidad del aprendizaje sea compartida de manera activa entre docentes y estudiantes.

Este enfoque surge en el marco de un proyecto de investigación impulsado por el Grupo de Investigación en Educación en Ingeniería (GIESIn) y el Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC) de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia (UTN - FRRe). La propuesta responde a la necesidad de fortalecer el desarrollo de competencias y habilidades interpersonales, una demanda creciente tanto en el ámbito académico como en el profesional, particularmente en el área de las Tecnologías de la Información (TI) [3].

En este contexto, ADE plantea una alternativa mediante la incorporación de valores, principios y prácticas ágiles adaptadas al entorno educativo. Estas estrategias fueron publicadas previamente [4, 5] y validadas a través de experiencias concretas de aplicación en materias universitarias.

ADE está compuesto por cuatro valores fundamentales y siete principios rectores, definidos a partir de los postulados del Manifiesto Ágil [6]. Tal como se muestra en la Figura 1, estos valores promueven la interacción entre las personas, el aprendizaje activo, la evaluación por competencias y la adaptación constante del desarrollo de la cursada.




**Figura 1. Valores ADE**

Por su parte, ADE organiza sus prácticas en torno a **tres dimensiones** clave: **equipo**, **tiempo** y **trabajo**, tal como se representa en la Figura 2. Cada una de estas dimensiones agrupa un conjunto de técnicas y herramientas diseñadas para fomentar la colaboración, la autonomía y el aprendizaje significativo dentro del aula.




**Figura 2. Dimensiones ADE**

**Dimensión Equipo:** Se focaliza en la formación y gestión de equipos ágiles de trabajo, con énfasis en la autoorganización, la multifuncionalidad y la mejora continua. Incluye técnicas como la matriz de habilidades, las alianzas de equipo, el mapa personal, el speed dating, el Happiness Door, y las retrospectivas.

**Dimensión Tiempo:** Orienta la organización del tiempo académico mediante la división en ciclos cortos o "sprints", autoevaluaciones periódicas y técnicas como la planificación iterativa, las reuniones diarias (dailies) y el timeboxing, buscando detectar tempranamente dificultades en la comprensión de los temas.

**Dimensión Trabajo:** Apunta a optimizar la organización del trabajo académico mediante técnicas como tableros de información (Kanban, Trello, Miro), delegación de tareas, planificación colaborativa, gamificación y herramientas de comunicación digital, promoviendo la transparencia, la coordinación y la autonomía. [7]

## 3. Experiencia: aplicación práctica de ADE en la cursada

Durante el último año de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, se dictan distintas materias en las que se aplicaron algunas de las prácticas y técnicas propuestas en ADE. En esta sección se relata desde la perspectiva del estudiante, cómo se implementan estas prácticas, qué utilidad se percibe de ellas y cómo se alinearon con las tres dimensiones clave de ADE: Equipo, Tiempo y Trabajo. Por cuestiones de confidencialidad, las materias serán nombradas cómo Materia A, Materia B, Materia C y Materia D.

Se debe mencionar, que la implementación de ADE no fue homogénea en todas las asignaturas; algunas cátedras implementaron múltiples técnicas de forma sistemática, mientras que otras realizaron intervenciones puntuales. Asimismo, la percepción de utilidad y efectividad varió según el contexto de aplicación y la dinámica de los equipos, lo cual se detalla en las siguientes secciones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A continuación, se presenta una tabla que muestra de manera resumida las principales dinámicas implementadas durante la cursada de cada una de las asignaturas según la dimensión de ADE a la que corresponden.

**Tabla 1. Dinámicas experimentadas clasificadas según dimensiones ADE**

| Dimensión | Técnica/Dinámica | Asignatura |
|---|---|---|
| **Equipo** | Alianzas de equipo | A |
| | Retrospectivas finales (feedback) | A, B, C, D |
| **Tiempo** | Sprints (entregas parciales de trabajos integradores) | A, B, C |
| | Sprint review (Tutorías) | A, B, C |
| **Trabajo** | Kanban personal para gestión de tareas | - |
| | Examen no tradicional (Podcast, Película) | A, C |
| | Gamification: Superhéroes | B |
| | Gamification: Torres de papel | B |
| | Gamification: Negociación | C |
| | Gamification: Teléfono cortado | C |
| | Gamification: Globo | C |

En los siguientes apartados se desarrollan cada una de estas dinámicas agrupadas por dimensión, describiendo su implementación, su impacto y la valoración personal sobre la utilidad para la formación profesional.

### 3.1 Dinámicas relacionadas a la dimensión Equipo

La dimensión equipo dentro ADE propone generar condiciones para que los estudiantes trabajen de forma colaborativa, con foco en la autoorganización, la confianza mutua y la mejora continua. A lo largo de la cursada, se definieron actividades alineadas a esta dimensión, aunque con resultados dispares según la asignatura y la forma de implementación.

**Alianzas de equipo: un intento que no prosperó**

Esta técnica se aplicó solamente en la Materia A, durante la primera clase en la que se conformaron los equipos de trabajo. La propuesta fue sencilla: cada equipo debía establecer una serie de pautas sobre cómo quería funcionar internamente, incluyendo distribución de tareas, compromisos, horarios, forma de comunicación y formas de resolver desacuerdos.

En un primer momento, la implementación de la Alianza fue recibida de manera positiva, ya que permitió establecer expectativas iniciales y acuerdos sobre la organización del equipo. Sin embargo, con el transcurso de las semanas, dicho acuerdo quedó relegado y no volvió a retomarse en las dinámicas de trabajo colectivo. Tampoco se lo utilizó como referencia para evaluar la forma en que los estudiantes se organizaban, lo que limitó su incidencia práctica. Como consecuencia, no se identificó un impacto real o sostenido en la dinámica de equipo, quedando la experiencia restringida a una actividad introductoria. Una posible mejora hubiera sido mantener la Alianza como un instrumento vivo de seguimiento, revisando periódicamente y ajustándose de acuerdo con las necesidades emergentes del equipo, de modo que se consolide como un recurso efectivo para fortalecer la cohesión y la autogestión estudiantil.

**Retrospectivas: decir lo que se piensa... al final**

Todas las materias de la muestra realizaron alguna forma de retrospectiva general al cierre de la cursada, usualmente a través de formularios. El objetivo era recoger opiniones sobre la materia, la metodología utilizada y la experiencia global.

Desde la perspectiva del estudiantado, estas instancias resultaron especialmente útiles para el cuerpo docente, en tanto les brindaron la posibilidad de recoger comentarios genuinos sobre la dinámica del curso. Sin embargo, su valor directo para quienes transitaban la experiencia fue limitado, dado que las mejoras derivadas de dichas observaciones se proyectaban principalmente hacia futuras cohortes y no repercuten de manera inmediata en la cursada actual.

Asimismo, la ausencia de retrospectivas internas dentro de los equipos fue percibida como una oportunidad desaprovechada. La incorporación de espacios breves y periódicos para reflexionar sobre el funcionamiento del grupo permitiría detectar a tiempo dificultades organizativas o desbalances en la distribución de tareas, favoreciendo así una mayor cohesión y eficiencia en el trabajo colaborativo.

Como alternativa, se considera que la implementación de retrospectivas cortas podría haber generado beneficios inmediatos. Dinámicas simples, como responder en conjunto qué aspectos funcionaron bien, cuáles deberían mejorarse y qué acciones concretas se implementarían en la próxima etapa, habrían brindado un marco de mejora continua adaptado al ritmo del curso.

### 3.2 Dinámicas relacionadas a la dimensión Tiempo

La dimensión tiempo, dentro del enfoque ADE, busca que el aprendizaje se organice en ciclos breves y planificados, mediante prácticas como los sprints, las entregas parciales y la gestión iterativa del avance. Esta lógica propone dividir el trabajo en etapas, asignar tiempos concretos para cada una y generar espacios de revisión periódica. Durante la cursada, varias materias

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



implementaron esta dinámica, en algunos casos de forma explícita y en otros como una práctica implícita.

**Sprints y sprints reviews: dividir para conquistar**

La primera en mencionar directamente la palabra "sprints" fue la materia A, donde el trabajo final se dividió en cuatro entregas escalonadas, cada una con objetivos específicos. A lo largo de la cursada, fue abordado por etapas el análisis de una empresa real: su entorno, su estructura organizacional, sus problemáticas, y finalmente la propuesta de un sistema de gestión. Esta forma de trabajar permitió abordar el problema con mayor profundidad y menor presión, ya que cada entrega se enfoca en una parte concreta del análisis.

Las materias B y C también aplicaron entregas parciales, aunque sin utilizar el término "sprint". Aun así, la lógica fue muy similar: dividir el trabajo final en bloques con fechas determinadas, cada uno enfocado en una parte distinta del desarrollo del proyecto.

En ambos casos, las entregas estaban acompañadas de instancias de devolución, semejantes a las **sprints review**:

- Tanto en la materia A como la B, se realizaron instancias de tutorías con los docentes para discutir los avances y recibir orientación.
- En la materia C, las presentaciones fueron orales frente al resto de los equipos, con devoluciones abiertas que permitían aprender también de los errores o aciertos ajenos.

La división del trabajo en entregas parciales se evidenció como una de las prácticas más útiles de la cursada, ya que favoreció una mejor gestión del tiempo, redujo la tendencia a la postergación y permitió distribuir la carga académica de manera más equilibrada. En un contexto universitario, donde con frecuencia se trabaja bajo presión por las fechas de entrega, este enfoque contribuyó a mantener un ritmo de trabajo más saludable y a contar con una visión más clara de lo esperado en cada etapa.

Asimismo, los análisis parciales resultaron más profundos, dado que el foco se centraba en una parte específica del problema, lo que facilitó posteriormente la conexión de los conceptos y la construcción de una propuesta final más sólida.

### 3.3 Dinámicas relacionadas a la dimensión Trabajo

La dimensión trabajo dentro de ADE pone el foco en cómo se organiza, distribuye y visibiliza el trabajo académico. Propone prácticas que promueven la autonomía, la planificación colaborativa, el uso de herramientas digitales y la motivación a través de dinámicas lúdicas o creativas. Durante la cursada, esta fue, sin dudas, la dimensión con mayor presencia y variedad de actividades.

**Kanban personal: orden en el caos**

Si bien no fue una práctica establecida por ninguna cátedra, el uso de tableros Kanban se incorporó como herramienta de organización personal. Las tareas se gestionaron por materia o área de trabajo mediante la plataforma Trello[1], clasificadas en las columnas "por hacer", "en proceso", "en revisión" y "hecho".

Este método permitió contar con una visión clara de las actividades pendientes, priorizar entregas y distribuir el tiempo de manera más eficiente entre las distintas materias.

Aunque su implementación fue una iniciativa individual, se considera que refleja el espíritu de ADE, al fomentar la autonomía, la autoorganización y el seguimiento visual del avance.

**Exámenes no tradicionales: Formas distintas de evaluar**

Una de las propuestas más interesantes vinculadas a la dimensión trabajo fue el uso de formatos alternativos de evaluación, que rompieron con el esquema clásico de examen escrito.

1. Podcast:

En la materia A, el primer parcial consistió en la producción de un podcast de no más de cinco minutos, realizado en parejas. Esta propuesta no sólo innovó en el formato, sino también en la dinámica de resolución. Unas dos horas antes del examen, la cátedra envió un escenario para analizar: una empresa brasileña en proceso de expansión hacia Argentina. Si bien algunos aspectos del caso podían analizarse con anticipación, la conexión entre el escenario y los contenidos teóricos a abordar debía resolverse durante el examen.

A cada pareja se le asignaron tres temas específicos, y se dejó libertad para elegir la estructura del podcast (entrevista, charla, informe, etc.). Lo que debía entregarse durante el tiempo del examen era el guión completo, mientras que el audio podría ser enviado al día siguiente.

Esta propuesta fue una de las evaluaciones más interesantes y valiosas del cuatrimestre. El hecho de tener que relacionar activamente el contenido de la materia con una situación concreta, y al mismo tiempo comunicarlo en un lenguaje accesible para alguien externo al tema, exigió un nivel de análisis y comprensión muy superior al de un examen convencional, es decir, se puso en juego no solo el conocimiento técnico, sino también la capacidad de comunicación efectiva y síntesis.

Además, existió una dificultad adicional: algunos de los temas asignados no se vinculaban de manera directa con el escenario, lo que generó la creación de situaciones ficticias coherentes para justificar su inclusión. Esta

[1] https://trello.com/es

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tensión entre contenido, contexto y comunicación fue lo que terminó de consolidar el aprendizaje. Al tener que explicarlo de forma clara para otros, los conceptos se simplificaron sin perder profundidad, lo que permite entenderlos mejor.

Además, el hecho de grabar el podcast implicó organizar tareas, practicar, editar y consensuar contenidos, lo cual fortaleció el trabajo en equipo y la planificación.

Y más allá del plano académico, fue una actividad divertida, que rompió con la rigidez habitual de los parciales y generó un espacio creativo que también favoreció el trabajo en equipo.

2. Película + cuestionario:

En contraste, en la asignatura Materia C se propuso como instancia de evaluación la visualización de la película *Pasante de moda*, acompañado por la resolución de un cuestionario individual. Si bien la propuesta resultó diferente y presentó un carácter más descontracturado, el nivel de profundidad alcanzado fue limitado. La consigna no incentivaba un análisis crítico ni la aplicación directa de los conceptos trabajados en clase, y tampoco se habilitaron espacios de intercambio que favorecieran la construcción colectiva de aprendizajes.

Como consecuencia, la experiencia fue percibida más cercana a una actividad recreativa que a una instancia formativa. Una alternativa superadora habría sido diseñar preguntas orientadas al debate y al vínculo explícito con los contenidos de la materia, complementadas con una discusión grupal guiada por el docente. De este modo, la actividad podría haber conservado su carácter dinámico e innovador, a la vez que fortalecía la reflexión crítica y la apropiación de los saberes por parte del estudiantado.

**Gamification: Formas divertidas de enseñar y aprender**

Varias asignaturas implementaron dinámicas de juegos, con el objetivo de generar participación, fomentar la creatividad y reforzar habilidades blandas. Estas actividades, más lúdicas que formales, tuvieron resultados variados en cuanto a la utilidad percibida. Algunas lograron integrar objetivos formativos concretos, mientras que otras funcionaron más como espacios recreativos.

1. Superhéroes

La primera actividad de la materia B consistió en la creación de una identidad grupal. Cada equipo debía elegir un "super nombre", y cada integrante debía editar una imagen propia para representarse como un superhéroe, asignándole habilidades exageradas que simbolizan fortalezas personales.

En el caso del autor, el equipo fue denominado "The 4 Bytes", en alusión a los Cuatro Fantásticos, y sus integrantes adoptaron alias como "Mr. Bytásticos", "la Antorcha de la Innovación", "la Gestora Invisible" y "El Mole". Al finalizar el trabajo integrador, se solicitó a los equipos reflexionar sobre cómo esas "super habilidades" habían contribuido al desarrollo del proyecto.

La actividad fue percibida como innovadora y con un carácter lúdico, lo que contribuyó a generar un clima inicial de entusiasmo y predisposición positiva. Sin embargo, no se reconoció un impacto significativo en el desarrollo de habilidades específicas ni en la profundización de los contenidos trabajados en clase. En algunos casos, incluso se la valoró como innecesaria o poco integrada a la propuesta pedagógica, lo que llevó a interpretarla más como un recurso accesorio que como una instancia formativa.

En este sentido, su aporte principal se vinculó al componente motivacional propio del inicio de la cursada, más que a un efecto directo en el aprendizaje. Una estrategia superadora habría consistido en articular la dinámica con objetivos de la asignatura, incorporando actividades de análisis o reflexión posteriores que permitieran capitalizar el entusiasmo inicial y transformarlo en un insumo para el desarrollo de competencias y la apropiación de saberes.

2. Torres de papel

La dinámica se desarrolló en tres fases diferenciadas. En la primera, los integrantes de cada equipo completaron un test destinado a identificar su estilo de liderazgo y, a partir de esos resultados, debían consensuar qué rol asumiría cada miembro en el grupo. La segunda fase consistió en el diseño de una estrategia para construir la torre más alta posible utilizando un máximo de quince hojas de papel, con la condición de incluir una ventana y sin emplear el cartón base como parte de la estructura. Finalmente, en la etapa de construcción, uno de los integrantes asumió el rol de líder, según lo indicado por el test, con la responsabilidad de dirigir al equipo sin participar directamente en el armado.

Si bien al inicio este rol se percibió como un desafío, una vez definida la estrategia la necesidad de coordinación resultó limitada, lo que redujo el dinamismo esperado de la experiencia. No obstante, la fase de planificación previa fue valorada de manera especialmente positiva, ya que incentivó a pensar más allá de los enfoques convencionales, optimizar los recursos disponibles y contemplar las restricciones planteadas. Estos elementos fueron considerados de gran relevancia en términos de estrategia, creatividad y desarrollo del pensamiento estructurado, constituyéndose en el aporte más significativo de la propuesta.

Como oportunidad de mejora, se considera que la etapa de liderazgo podría haberse enriquecido mediante la introducción de imprevistos o nuevas condiciones durante la construcción, por ejemplo, cambios en el tiempo disponible, restricciones adicionales en el uso del material o la incorporación de criterios de evaluación inesperados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



De este modo, el rol del líder habría adquirido mayor protagonismo, al requerir capacidad de adaptación, comunicación efectiva y toma de decisiones en situaciones dinámicas, lo que habría reforzado la pertinencia formativa de la actividad.

3. Negociación con piezas

Esta fue, sin dudas, la dinámica más útil y formativa del cuatrimestre. Se formaron equipos al azar, y cada uno recibió piezas de distintos colores, con el objetivo de armar figuras como la que se muestra en la figura 3 (usando 6 piezas del mismo color). Luego de analizar las piezas disponibles y planificar una estrategia, cada equipo eligió un delegado que participaría en dos rondas de negociación con los otros equipos, con el fin de conseguir las piezas faltantes.

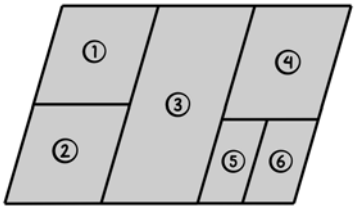



**Figura 3. Figura utilizada para el juego de negociación**

El equipo logró una estrategia diferenciadora: en lugar de negociar pieza por pieza, como hicieron la mayoría, se propuso intercambiar figuras completas, lo que permitió completar tres estructuras y ganar la actividad. En la devolución, las docentes destacaron esta y otras estrategias posibles, como formar alianzas para tomar ventaja o incluso para sabotear a otros negando sus piezas.

Esta dinámica permitió experimentar la negociación real, no solo desde el intercambio de recursos, sino también desde la toma de decisiones, la evaluación de riesgos y la anticipación de consecuencias. Fue un ejercicio intenso, concreto y muy valioso para pensar cómo se negocia en escenarios competitivos y con recursos limitados.

4. Teléfono cortado

En esta dinámica se buscó trabajar la comunicación descendente y los efectos de su distorsión. Para ello, se conformaron equipos en los que cada integrante debía reproducir, con el dedo en la espalda del compañero, un dibujo previamente asignado. El último de la fila debía representar la figura resultante en la pizarra, y se consideraba ganador al equipo cuya imagen final guardara mayor semejanza con el diseño original.

Aunque la experiencia fue percibida como entretenida y generó un clima distendido, no se identificó un aprendizaje significativo vinculado a los contenidos de la asignatura. La propuesta se valoró como simpática, pero al no incluir un espacio de reflexión posterior que permitiera analizar las dificultades comunicacionales, su aporte quedó restringido al componente lúdico.

Como oportunidad de mejora, se sugiere complementar la actividad con un momento de análisis colectivo en el que se discutan las causas de las distorsiones, las implicancias de la comunicación en los equipos de trabajo y las posibles estrategias para minimizar errores de interpretación. De este modo, el ejercicio podría conservar su carácter dinámico y motivador, al mismo tiempo que reforzaría su valor formativo en relación con la importancia de la comunicación clara y efectiva.

5. Dinámica del globo

En esta propuesta, dos equipos competían por trasladar un globo desde el punto A hasta el punto B sin dejarlo caer y sin utilizar las manos para sostenerlo. La consigna exigía que los participantes permanecieran tomados de las manos durante el recorrido, resultando vencedor el grupo que alcanzara la meta en primer lugar sin incumplir las reglas establecidas.

Si bien la actividad buscaba fomentar el trabajo en equipo, su desarrollo fue muy breve y no incluyó una instancia de análisis posterior que permitiera reflexionar sobre la cooperación, la coordinación o las estrategias utilizadas. En consecuencia, el valor formativo percibido fue bajo, y la experiencia funcionó más como una pausa lúdica que como un recurso pedagógico con impacto en el aprendizaje.

Se considera que la dinámica podría haberse enriquecido con una discusión grupal posterior orientada a identificar las dificultades enfrentadas, la importancia de la comunicación no verbal y las estrategias emergentes de coordinación. De esta manera, el componente recreativo habría conservado su atractivo, pero se habría articulado con aprendizajes relevantes vinculados al trabajo colaborativo.

## 4. Conclusiones y reflexión

La implementación del enfoque Agile Driven Education (ADE) durante la cursada del último año de la carrera permitió analizar, desde una perspectiva situada, el impacto de distintas técnicas vinculadas a la organización del trabajo académico, la gestión del tiempo y la dinámica en equipo. La experiencia desarrollada evidencia que, si bien ADE propone una integración sistemática de prácticas ágiles en el ámbito educativo, su aplicación efectiva depende en gran medida del compromiso metodológico de cada cátedra y del contexto en el que se inserta.

En relación con la dimensión equipo, se observaron iniciativas orientadas a fortalecer la dinámica en equipo, cómo las alianzas iniciales y las retrospectivas finales. Las primeras funcionaron como herramientas útiles para establecer acuerdos de convivencia y organización en la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



conformación del equipo, aunque su relevancia tiende a disminuir con el tiempo. En general, no se registró un seguimiento activo ni por parte de los equipos ni del cuerpo docente, lo que provocó una pérdida de su valor inicial. Por su parte, las retrospectivas fueron aplicadas principalmente como instancias de retroalimentación al finalizar la cursada, y si bien aportaron información valiosa para las cátedras, no promovieron ajustes durante el desarrollo de los proyectos ni generaron espacios de mejora continua dentro de los equipos. En consecuencia, esta dimensión se presentó de forma parcial, con un impacto limitado en términos de formación colaborativa y autogestiva.

En contraste, la dimensión tiempo fue aplicada de manera más consistente. La organización de los trabajos prácticos en entregas parciales, bajo esquemas similares a los sprints, permitió distribuir la carga académica de forma equilibrada, reducir la presión hacia el final del cuatrimestre y facilitar el abordaje progresivo de los contenidos. Esta división del trabajo no solo mejoró la planificación personal, sino que también favoreció una mayor comprensión conceptual al permitir abordar cada etapa con foco específico.

La dimensión trabajo fue la que presentó mayor diversidad metodológica, incluyendo el uso de tablero Kanban personal, evaluaciones alternativas y dinámicas de gamification. En cuanto a los exámenes no tradicionales, la experiencia evidenció que, cuando están bien diseñados y alineados con los objetivos formativos, pueden ser herramientas potentes para el aprendizaje [8, 9]. En particular, aquellas propuestas que implicaron producción, análisis y comunicación de conceptos en lenguaje accesible resultaron valiosas por su vínculo con escenarios reales de aplicación.

Asimismo, las dinámicas de gamification ofrecieron una experiencia variada, con niveles de profundidad disímiles. Algunas actividades, como las que implicaban tareas negociación o la planificación bajo restricciones, lograron integrarse de manera efectiva a los contenidos curriculares, mientras que otras se aproximaron más al plano recreativo que al de aprendizaje, lo que no quita que hayan contribuido a mejorar el clima general de la cursada, diversificar la propuesta pedagógica y romper con la rutina tradicional de clase.

En términos generales, puede afirmarse que ADE constituye un marco valioso para fomentar la innovación didáctica, promover la participación activa del estudiantado y desarrollar habilidades transversales clave para el ejercicio profesional. Para maximizar su potencial, resulta necesario avanzar hacia una implementación más coherente y sostenida, que contemple el seguimiento de las técnicas a lo largo del tiempo, fortalezca las dimensiones menos desarrolladas, e incluya instancias sistemáticas de reflexión posteriores a las actividades [1, 2, 10]. Solo así podrá consolidarse como una estrategia pedagógica efectiva, integradora y adaptada a los desafíos actuales de la educación superior.

## 5. Referencias

1. López-Alcarria, A., Olivares-Vicente, M., & Poza-Vilches, F. (2019). A Systematic Review of the Use of Agile Methodologies in Education to Foster Sustainability Competencies. *Sustainability*, 11(10), 2915. DOI: 10.3390/su11102915
2. Arcos Páez, A., Jiménez, S., López, M., & Calderón, D. (2025). Metodologías ágiles adaptadas a procesos educativos: resultados de implementación en distintos niveles formativos. *Revista ASCE*, 4(2), abril–junio. DOI: 10.70577/ASCE/757.772/2025
3. Lopes, D. C., Gerolamo, M. C., Del Prette, Z. A. P., Musetti, M. A., & Del Prette, A. L. M. I. R. (2015). Social skills: A key factor for engineering students to develop interpersonal skills. International journal of engineering education, 31(1), 405-413.
4. Bollati, V. A., Arias, M., Sandobal Verón, V., & Cuenca Pletsch, L. (2022). Una estrategia ágil de enseñanza-aprendizaje. CONAIISI 2022.
5. Verón, V. C. S., del Carmen Maurel, M., & Arias, M. (2020, December). Aplicación de prácticas ágiles en el proceso de enseñanza-aprendizaje: la perspectiva del docente y el alumno [Not available in English]. In 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON) (pp. 1-7). IEEE.
6. Agile Manifesto (2001), Avail. at http://agilemanifesto.org/
7. V. A. Bollati, V. C. Sandobal Verón, M. del C. Maurel, M. E. Arias, y L. Cuenca Pletsch, “Agile Driven Education: An Agile Teaching and Learning Strategy,” Transactions on Education, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Resistencia, pp. 4–6, 2024.
8. Riedl, A., Brown, L., & Rausenberger, C. (2024). An “Agile” Project Planning Course: Learning by Doing in Process Engineering Education. Education for Chemical Engineers, 48, 15–21. DOI: 10.1016/j.ece.2024.04.003
9. Chakraborty, D., & Galatro, J. (2024). Incorporating Agile Methodologies Into the Chemical Engineering Curriculum. Computer Applications in Engineering Education, 33(1), e22805. DOI: 10.1002/cae.22805
10. Pócsová, L., Mokošová, M., & Pisonová, M. (2020). Implementation of Agile Methodologies in an Engineering Course. Education Sciences, 10(11), 333. DOI: 10.3390/educsci10110333

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Una propuesta para mejorar la participación y el rendimiento estudiantil

Machado Benítez, Matías Emmanuel[1], Valeria C. Sandobal Verón[1], Verónica A. Bollati[2]

{machadobenitezmatias88, valesandobal, vbollati}@gmail.com

[1,2] *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia*

[1] *Grupo de Investigación en Educación en Ingeniería (GIESIn)*

[2]*Centro de Investigación Aplicada en Tecnología de la Información y las Comunicaciones (CInApTIC)*

[2]*CONICET*

## Resumen

*Las asignaturas técnicas de los primeros años de Ingeniería en Sistemas presentan ciertas problemáticas, para indagar en ellas se realizó un análisis cualitativo mediante observaciones, entrevistas y encuestas a ayudantes de segunda, aplicando la técnica del "bote" para organizar fortalezas, debilidades, oportunidades y riesgos. Entre los hallazgos se destacan la deserción temprana, escasa interacción en clase, falta de compromiso sostenido y un descenso progresivo en el rendimiento académico. Estos factores, interrelacionados, generan un impacto negativo en la continuidad de la cursada y en la construcción colectiva del conocimiento. Como propuesta de mejora se plantea el uso del marco* ***Agile Driven Education (ADE)****, que, mediante prácticas ágiles como planificación flexible, retroalimentación continua y roles rotativos, busca fortalecer la motivación y la participación estudiantil.*

**Graphical Abstract**




## Palabras claves

Educación universitaria, deserción estudiantil, participación en clase, rendimiento académico, técnicas de diagnóstico, Agile Driven Education, agilidad, motivación.

## Introducción

En muchas asignaturas universitarias de base técnica, especialmente en los primeros años de las carreras, persisten problemáticas como la falta de motivación, la baja participación en clase, la falta de compromiso, la alta deserción y la escasa interacción entre estudiantes y docentes. Estas situaciones afectan no solo el rendimiento académico, sino también la retención de estudiantes a lo largo de la cursada [1].

El modelo de enseñanza tradicional, basado principalmente en clases magistrales donde el docente transmite el conocimiento y el estudiante cumple un rol pasivo, ha aportado resultados a lo largo del tiempo. Sin embargo, presenta limitaciones frente a las demandas actuales de la formación profesional, que requieren no solo habilidades técnicas sólidas, sino también competencias blandas, capacidad de trabajo en equipo y pensamiento crítico [2].

En este trabajo se analizan las asignaturas de nivel inicial de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, caracterizadas por dificultades en el rendimiento académico y en la retención de los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



estudiantes a lo largo de la cursada. La necesidad de mejora nace por las exigencias en un flujo de ingresantes y egresados estable. A partir del análisis y diagnóstico del funcionamiento de una asignatura se propone una intervención con el framework Agile Driven Education (ADE), una estratégia de enseñanza y aprendizaje basada en principios y prácticas ágiles del desarrollo de software [6] adaptada al desarrollo de conocimiento, mejora en la motivación estudiantil, trabajo colaborativo y retroalimentación continua.

## Método

Para abordar esta problemática, en primer lugar se realizó un análisis mediante observaciones directas en las clases, entrevistas y encuestas a los ayudantes de segunda de la asignatura, quienes además de colaborar en la docencia son estudiantes avanzados de la carrera. La cátedra cuenta con un total de cuatro ayudantes, distribuidos entre las distintas comisiones (una o dos por comisión), que en conjunto agrupan entre 100 y 150 alumnos inscriptos. Esta estructura permitió obtener una visión cercana desde la perspectiva del alumno y detectar con mayor precisión los factores que afectan la motivación y el rendimiento. Para este análisis se utilizó la técnica del "bote" [8], que permitió identificar y clasificar los problemas, así como también establecer hacia dónde se desea dirigir el curso. Esta técnica facilitó la organización de las ideas y la priorización de los temas más urgentes: la deserción progresiva, la participación limitada y los bajos resultados académicos. Posteriormente, cada uno de los problemas identificados en el diagnóstico fueron vinculados con una de las técnicas propuestas en ADE.

## Análisis Realizado

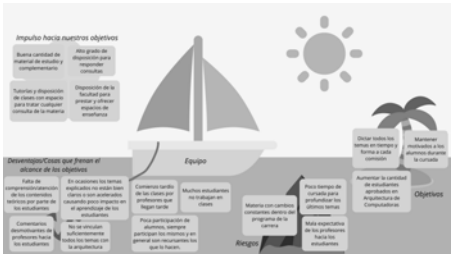
Para identificar las oportunidades de mejora en el cursado de las materias se realizó un análisis cualitativo basado en observaciones de clases durante los años 2024 - 2025 y encuestas a los ayudantes de segunda de las materias, quienes, por su rol de acompañamiento docente y su experiencia como estudiantes avanzados, ofrecieron una perspectiva valiosa sobre las dinámicas de la asignatura.

El objeto de estudio es una asignatura del segundo nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, correspondiente al 2º (segundo) año, 2º (segundo) cuatrimestre. Normalmente tiene 700 alumnos al inicio, de los cuales aproximadamente el 50% son recursantes. En 2025 la materia fue dictada en el primer cuatrimestre lo cual permitió realizar un estudio en dicho año.

En estas reuniones se aplicó la técnica del “bote”, una herramienta que consiste en recopilar de manera visual los distintos factores que afectan a la materia, clasificándolos en fortalezas, debilidades, oportunidades y riesgos. La dinámica se basa en imaginar que todos los integrantes de la cursada están en un bote: las **fortalezas** representan los elementos que impulsan hacia adelante al bote, las **debilidades** los que lo frenan, las **oportunidades** son recursos externos que ayudan a avanzar y los **riesgos** son amenazas externas que podrían hundir el bote.

El uso de esta técnica permitió organizar de manera clara y consensuada los principales problemas detectados y priorizar aquellos que requieren intervención más urgente, tales como la deserción progresiva, la falta de compromiso, la baja participación y los resultados académicos insuficientes. El resultado del análisis se plasmó en una figura representativa del “bote” ( ver Figura 1).

**Figura 1. Bote**




A partir de este análisis, se identificaron factores organizativos y pedagógicos que limitan la participación activa y el rendimiento académico. A continuación se presentan los principales hallazgos que permiten comprender mejor las fortalezas, debilidades, oportunidades y riesgos asociados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Factores organizativos y pedagógicos

El análisis realizado permitió clasificar los principales hallazgos en torno a factores que influyen directamente en la dinámica de cursado y en los resultados académicos. Estos factores se organizaron en cuatro categorías: fortalezas, debilidades, oportunidades y riesgos, con el objetivo de visualizar de manera integral los elementos que favorecen o dificultan el aprendizaje.

- **Fortalezas.** Se identifica una amplia disponibilidad de material didáctico y complementario, lo cual constituye un factor clave para el aprendizaje autónomo, ya que ofrece al estudiantado fuentes diversas para reforzar los contenidos y consolidar prácticas de estudio. Asimismo, se destaca un alto nivel de disposición del profesorado, expresado en la apertura para responder consultas y acompañar los procesos formativos. A esto se suma la habilitación de espacios de tutorías, que resultan esenciales para abordar dudas tanto sobre los contenidos teóricos como prácticos, favoreciendo la retroalimentación continua y el fortalecimiento del vínculo pedagógico.
- **Debilidades.** Se observaron dificultades vinculadas al inicio tardío de algunas clases, lo cual reduce el tiempo efectivo de enseñanza y afecta la planificación prevista. También se evidenció una limitada capacidad para sostener la atención y el compromiso del estudiantado en relación con los contenidos teóricos, situación que impacta negativamente en la comprensión profunda de los temas. A ello se suma la escasa participación en clase por parte de un sector importante de estudiantes, lo que limita las oportunidades de aprendizaje colaborativo. Finalmente, los ritmos acelerados en el desarrollo de ciertos contenidos complejos dificultan su adecuada asimilación, generando brechas en la apropiación del conocimiento.
- **Riesgos.** Entre los principales riesgos se identifican las expectativas negativas de algunos docentes respecto al desempeño del estudiantado, lo cual puede influir en la motivación y en la percepción de autoeficacia de los mismos. Además, se señala la falta de tiempo suficiente para profundizar en los últimos temas del programa, lo que amenaza la completitud de la formación y la posibilidad de alcanzar los resultados de aprendizaje planificados.
- **Oportunidades.** A pesar de las dificultades mencionadas, se observa una marcada predisposición de los estudiantes para participar en actividades, lo que constituye un punto de partida para introducir estrategias más activas y participativas en el aula. Asimismo, se reconoce el aporte de los ayudantes de cátedra, quienes poseen conocimientos sobre técnicas de enseñanza innovadoras, lo que abre la posibilidad de diversificar las dinámicas de trabajo y enriquecer la experiencia de aprendizaje.

## Deserción progresiva de estudiantes

A lo largo de la cursada se observa una disminución sostenida en la cantidad de estudiantes activos. Un aspecto particularmente relevante es que este descenso no se inicia a partir de la primera instancia de evaluación formal, sino que se manifiesta incluso con anterioridad. Este fenómeno sugiere la presencia de factores iniciales que influyen en la decisión de abandono, tales como expectativas poco claras respecto al curso, dificultades de integración al grupo o una temprana desmotivación frente a la propuesta pedagógica. Posteriormente, luego de cada evaluación parcial, se incorporan algunos nuevos estudiantes, aunque en una proporción menor a la de quienes se desvinculan. Este desbalance refuerza la tendencia descendente en la participación y evidencia la necesidad de analizar en profundidad las causas que afectan la permanencia estudiantil desde las etapas iniciales del cursado.

Esto genera un impacto directo en el dictado de las clases: grupos más reducidos lo que implica menor intercambio de ideas y menor diversidad de perspectivas. A esto se le suma una falta de control formal y sistemático de asistencias por la cantidad de alumnos por comisión, impidiendo seguir de cerca la evolución de la matrícula y detectar indicios tempranos de riesgos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Participación limitada en clase

La participación en las clases se caracteriza por ser limitada y concentrarse en un grupo reducido de estudiantes, lo que genera interacciones recurrentes entre los mismos actores y restringe las oportunidades de expresión para el resto del estudiantado. Esta dinámica impacta negativamente en la calidad del aprendizaje, ya que disminuye el intercambio de ideas, la resolución colaborativa de problemas y la construcción colectiva del conocimiento, aspectos ampliamente reconocidos como fundamentales para un aprendizaje profundo.

Desde nuestra perspectiva, la baja participación se debe, en parte, a la escasa seguridad psicológica [5] dentro de la clase, manifestada por la inseguridad al momento de intervenir, el temor a cometer errores frente a los pares y la percepción de que las contribuciones individuales no serán valoradas. Asimismo, las clases estructuradas predominantemente en torno a la exposición unidireccional del docente refuerzan una posición pasiva del estudiantado, limitando su involucramiento activo en la dinámica de aula.

Esto pone de relieve la necesidad de implementar estrategias pedagógicas orientadas a fomentar la interacción, fortalecer un clima de confianza y motivar la participación equitativa de todo el grupo.

### Falta de compromiso

Otro de los factores identificados fue la falta de compromiso sostenido por parte de algunos estudiantes y profesores. Esto se refleja en la escasa preparación previa a las clases, la entrega incompleta o tardía de actividades, la llegada tardía a las clases y la baja asistencia a clases y/o instancias de consulta. Esta situación afecta tanto al rendimiento individual como grupal, ya que disminuye la responsabilidad compartida y genera desequilibrios en el trabajo colaborativo.

El compromiso es un aspecto clave en la formación universitaria, pues implica no solo asistir, sino también asumir un rol activo en el proceso de aprendizaje. La ausencia de este factor refuerza otras problemáticas como la deserción y los bajos resultados, dejando en evidencia la necesidad de implementar prácticas que promuevan la responsabilidad y la implicación de cada estudiante en el grupo.

### Bajo resultados académicos

Existe una tendencia decreciente en la cantidad de estudiantes que rinden cada uno de los parciales, así como también en los porcentajes de aprobación. A medida que avanza el cuatrimestre, no solo disminuye la cantidad de inscriptos que se presentan a rendir, sino que el porcentaje de quienes logran aprobar también se reduce. Esto podría estar relacionado con varios factores: falta de preparación previa, dificultades en la comprensión de los temas y carencia de instancias de retroalimentación oportuna. El impacto de estos resultados va más allá de las calificaciones: afecta la motivación, genera frustración y en algunos casos contribuye a la deserción.

Al analizar resultados académicos entre los años 2024 y 2025, considerando las condiciones de finalización de los estudiantes (aprobación directa, regular, libre o abandono), se observa que el 6,51% logra la aprobación directa, el 16,41% queda en condición de regular, el 34,18% en condición de libre y un 42,90% abandona la cursada. Estos valores reflejan una fuerte tendencia hacia el abandono y la pérdida de condición académica, lo que constituye un factor crítico para la continuidad de los estudiantes.

Ante estos problemas identificados se presentará en la sección siguiente una propuesta de mejora.

### Propuesta de mejora

Existen muchas propuestas que proponen cambiar el foco del profesor al estudiante, con el objetivo de que el mismo se sienta protagonista de su proceso educativo. Entre las propuestas más significativas, se destaca Agile Driven Education (ADE) [3, 4], un framework que adapta los valores, principios y prácticas de la agilidad al contexto educativo. Su enfoque busca incrementar la motivación y la participación de los estudiantes, promoviendo la autonomía, el trabajo colaborativo y la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



retroalimentación constante.

ADE se fundamenta en tres dimensiones clave:

1. **Organización del trabajo:** planificación flexible, objetivos claros y segmentación de las tareas en entregas cortas que permitan evaluar el progreso de forma continua.
2. **Trabajo en equipo:** conformación de equipos (5 ± 2 integrantes) con roles definidos y rotativos para integrar a todos los estudiantes y distribuir equitativamente la participación.
3. **Gestión del tiempo:** clases estructuradas en ciclos cortos de actividad y reflexión, evitando la sobrecarga y fomentando espacios de discusión.

En este sentido, se considera que ADE puede resultar beneficioso para mejorar la motivación, la participación activa y el rendimiento académico de los estudiantes, ya que ofrece un marco estructurado pero flexible que responde a las necesidades individuales y colectivas del grupo, por lo que la implementación de ADE en las materias de nivel inicial podría contribuir a la solución de las problemáticas destacadas, ya que fomentan un entorno de aprendizaje más dinámico, participativo y adaptado a las necesidades reales de los estudiantes.

En la Tabla 1 se detalla la propuesta del conjunto de prácticas, propuestas por ADE a aplicar para resolver cada una de las problemáticas identificadas.

**Tabla 1. Problemáticas y Prácticas**

| **Problemática Identificada** | **Práctica de ADE** |
|---|---|
| Deserción Progresiva | **Reuniones de Planificación:** permite tener una planificación flexible, adaptando el dictado de la asignatura a lo largo del cuatrimestre.<br>**Tableros Kanban:** Permite que todos los integrantes tengan claros los objetivos y puedan controlar el progreso.<br>***Time Box*:** Permite organizar los tiempos de los temas y actividades a realizar. |
| Falta de compromiso | ***Definition of Done* (DoD):** ayuda a los estudiantes a comprometerse con metas claras y criterios de finalización de actividades y temas<br><br>***Peer Review*:** revisión entre compañeros, reforzando la implicación de cada integrante.<br><br>***Definition of Ready* (DoR):** ayuda a establecer las condiciones mínimas que cada estudiante debe cumplir antes de clases.<br><br>**Alianza:** cada equipo acuerda reglas de convivencia y objetivos comunes. Compromiso explícito que los mismos estudiantes ayudan a sostener. |
| Bajo resultados académicos | **Retrospectivas:** permiten reflexionar sobre lo aprendido y ajustar métodos de estudio antes de los parciales.<br><br>***Feedback* continuo:** evaluaciones frecuentes y ágiles que corrigen errores a tiempo.<br><br>***User Stories* adaptadas a educación:** fragmentan los contenidos en objetivos concretos y alcanzables. |
| Poca Participación | **Roles rotativos en equipos:** obliga a todos a tener voz y responsabilidades distintas.<br><br>**Gamificación:** uso de dinámicas de juego (puntos, logros, competencias en equipo, quizzes) para incentivar la participación activa y generar un ambiente motivador y menos ansioso.<br><br>**Tableros de visibilidad:** hacen que todos vean su progreso y participación. |

A continuación se detallan cada una de las prácticas seleccionadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Deserción Progresiva

**Reuniones de Planificación [7]**: al inicio de cada módulo o tema, se realizan breves sesiones donde los docentes acuerdan los objetivos de aprendizaje, los plazos y las actividades prioritarias. Esto genera una hoja de ruta clara que será compartida posteriormente a los alumnos, evitando la sensación de desorientación que suele llevar a abandonar la materia.

**Tableros Kanban [8]**: se implementan tableros físicos en el aula o virtuales en plataformas como Trello o Miro, donde los estudiantes visualizan qué temas están en proceso, cuáles completados y cuáles pendientes. Este seguimiento visual refuerza la percepción de progreso y mantiene la motivación.

***Time Box* [8]**: cada tema o actividad se organiza en bloques de tiempo delimitados en no más de 45 minutos con 5 o 10 minutos de descanso entre bloques (ejemplo: 20 minutos de explicación, 30 minutos de resolución de ejercicios). Esto evita clases extensas sin pausas, mantiene la atención y asegura un ritmo sostenido que ayuda a no perderse ni desconectarse del curso.

### Falta de Compromiso

***Definition of Done* (DoD) [7]:** Consiste en definir, para cada tema y práctica, criterios claros que indiquen cuándo se considera "completo". En el caso de los ejercicios, implica que estén resueltos y revisados en grupo. Para los temas teóricos, que los conceptos clave se comprendan, se apliquen en un ejemplo sencillo y se validan mediante una breve autoevaluación o explicación por parte de algún alumno que se ofrezca a hacerlo con sus propias palabras. Esto asegura que no se avance con vacíos de conocimiento y refuerza el compromiso de los estudiantes.

***Peer Review***: los estudiantes revisan las tareas con sus equipos antes de entregarlas, señalando mejoras o errores. Esto no solo fortalece el compromiso individual (pues saben que su trabajo será visto por otros), sino también el colectivo, al generar una cultura de colaboración y responsabilidad compartida.

### Bajo Resultados Académicos

**Retrospectivas**: después de cada parcial o entrega, se organiza una sesión de reflexión grupal entre alumnos y profesores para identificar qué funcionó en la preparación, qué no y qué se puede mejorar para la siguiente instancia. Esto convierte los errores en oportunidades de aprendizaje y genera estrategias de mejora continua.

***Feedback* Continuo**: en lugar de esperar a los parciales, se implementan evaluaciones cortas y frecuentes (quizzes online, ejercicios rápidos en clase) que permiten detectar falencias a tiempo. El feedback inmediato ayuda a corregir errores antes de que se acumulen.

***User Stories* adaptadas a educación**: los contenidos se fragmentan en objetivos de aprendizaje concretos y alcanzables (ej.: "como estudiante necesito comprender cómo funciona la memoria caché para poder resolver problemas de eficiencia en CPU"). Esto permite avanzar en pasos cortos y medibles, evitando la sobrecarga cognitiva y mejorando la comprensión.

### Poca Participación

**Roles Rotativos en Equipos**: en cada clase grupal, los estudiantes asumen distintos roles (líder, coordinador, presentador, programador, investigador) dependiendo de sus habilidades y tipo de actividad (el alumno que sabe programar lidera actividades de programación). Al rotar, todos tienen la oportunidad de participar activamente y desarrollar diferentes habilidades.

**Gamificación**: se incorporan dinámicas de juegos como quizzes en vivo, competencias por equipos o sistemas de puntos y logros por participación. Estas herramientas motivan a los estudiantes a involucrarse de manera activa, reducen la ansiedad de intervenir en público y generan un ambiente más dinámico y atractivo.

**Tableros de Visibilidad**: se exponen de manera pública los avances de cada grupo o estudiante (por ejemplo, qué ejercicios han completado, qué temas han comprendido). Esta visibilidad genera responsabilidad compartida, motiva a los rezagados y refuerza el sentido de progreso colectivo.

***Definition of Ready* (DoR):** La *Definition of Ready* consiste en establecer requisitos mínimos antes de comenzar cada actividad académica. En el contexto universitario, puede aplicarse definiendo qué debe haber realizado cada estudiante antes de una clase práctica o actividad de equipo, por ejemplo: leer un capítulo, mirar un video introductorio o resolver

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



un breve cuestionario diagnóstico. Esto asegura que todos lleguen con un nivel de preparación básico y que las actividades puedan aprovecharse al máximo. Al mismo tiempo, genera un hábito de responsabilidad individual y compromiso con la dinámica del equipo.

**Alianza [8]:** La alianza de equipo es un acuerdo inicial construido entre todos los integrantes de cada equipo, en el que se establecen pautas de convivencia, formas de trabajo y expectativas compartidas. En la asignatura podría implementarse en el momento en que se armen los equipos, destinando un espacio para que los estudiantes, definan reglas claras sobre puntualidad, participación, y respeto mutuo. Este documento no es estático: se revisa y ajusta a lo largo de la cursada. La práctica refuerza la cohesión, aumenta el sentido de pertenencia y promueve la corresponsabilidad en los resultados académicos.

## Conclusión

El análisis realizado en las asignaturas de nivel inicial de Ingeniería en Sistemas de Información permitió identificar problemáticas estructurales que afectan el aprendizaje y la permanencia de los estudiantes. Estas dificultades, aunque de distinta naturaleza, se encuentran interrelacionadas y tienden a reforzarse mutuamente, generando un impacto negativo en la motivación y en la continuidad de la cursada.

La propuesta de aplicar el *framework Agile Driven Education* (ADE) surge como una alternativa concreta para atender estas problemáticas desde una perspectiva innovadora. Sus prácticas ofrecen un marco que favorece el compromiso sostenido, incrementa la participación y permite actuar de manera temprana sobre las dificultades académicas.

ADE no pretende reemplazar los contenidos técnicos ni el rigor disciplinar de la materia, sino complementarlos con estrategias pedagógicas que promuevan un aprendizaje más dinámico, participativo y significativo. Al trasladar los valores de la agilidad al aula universitaria, se busca no solo mejorar las métricas de rendimiento y retención, sino también potenciar competencias transversales esenciales para la formación profesional, como la colaboración, la autogestión y el pensamiento crítico.

En este sentido, la implementación de ADE representa una oportunidad para transformar los espacios de enseñanza en entornos más inclusivos y motivadores, donde cada estudiante pueda asumir un rol activo y comprometido en su propio proceso formativo.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por el proyecto “Gobierno del Dato en AAPP del NEA: Análisis, Adaptación e Implementación de Modelos de Gobierno y Calidad de Datos en las Administraciones Públicas de la Región NEA” (Universidad Tecnológica Nacional, SITCRE0008590) y el CONICET. Se agradece el apoyo de ambas instituciones.

## Referencias

1. Tayebi, Abdelhamid & Gómez, Josefa & Delgado, Carlos. (2021). Analysis on the Lack of Motivation and Dropout in Engineering Students in Spain. IEEE Access. 9. 66253-66265. 10.1109/ACCESS.2021.3076751.
2. Sanatbay, P., Smailova, G., Shalgynbayeva, K., Asilbekova, M., & Tauekelova, A. (2025). Problem-Oriented Learning as a Method of Developing Soft Skills Among Students of Pedagogical Specialties. Educación Sciences, 15(7), 861.
3. Bollati, V. A., Arias, M., Sandobal Verón, V., & Cuenca Pletsch, L. (2022). Una estrategia ágil de enseñanza-aprendizaje. En Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CONAIISI 2022). Universidad Tecnológica Nacional.
4. Bollati V. A., Sandobal Verón V. C., Maurel M. del C., Arias M. E., y Cuenca Pletsch L., “Agile Driven Education: An Agile Teaching and Learning Strategy,” Transactions on Education, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Resistencia, pp. 4–6, 2024.
5. Han, S. H., Liu, D., & Lv, Y. (2022). The Influence of Psychological Safety on Students’ Creativity in Project-Based Learning: The Mediating Role of Psychological Empowerment. Frontiers in Psychology.
6. Agile Manifesto, Avail. at http://agilemanifesto.org/, 2001 (accessed 2016.07.20).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



7. Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). The Scrum Guide™: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game.
8. L. Adkins, “Coaching Agile Teams: Un compañero para ScrumMasters , Agile Coaches y Project Managers en transición”, Addison-Wesley Signature Series (Cohn) , vol. ED-1, edición en inglés, 2010.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Del aula técnica a la reflexión crítica: un proyecto con Borges y Big Data en la educación en ingeniería

*Verónica Herrero Zamora – Octavio Von Mameren*
*Universidad Siglo 21*
*veronica-herrero@mi.21.edu.ar; octavio van mameren <vanmamerenoctavio@gmail.com>*

## Resumen

*La enseñanza de disciplinas relacionadas con la gestión de datos en carreras de Ingeniería suele centrarse en aspectos técnicos, lo cual no agrega herramientas para la reflexión crítica sobre sus implicancias éticas, sociales y culturales. Este trabajo presenta una experiencia áulica desarrollada en el curso de Gestión de datos e información de la carrera de Ingeniería en Innovación, en la que se integró la lectura y el análisis del libro Borges, Big Data y yo de Walter Sosa Escudero. La propuesta buscó ampliar las perspectivas de los estudiantes mediante la conexión entre conceptos de Big Data y las narrativas de Jorge Luis Borges, introduciendo la literatura como recurso pedagógico en un ámbito tradicionalmente rígido. La dinámica de trabajo consistió en la conformación de grupos estudiantiles, cada uno encargado de un capítulo del libro, que debía relacionar los temas técnicos con referencias literarias y presentarlos en clase a través de recursos digitales, exposiciones interactivas y actividades de aplicación. Los resultados evidenciaron un alto grado de motivación e integración conceptual, así como despertar interés en parte de los estudiantes en la obra de Borges y en la reflexión sobre el papel de los datos en la sociedad contemporánea. La experiencia muestra el potencial de las aproximaciones interdisciplinarias para enriquecer la formación en ingeniería, favoreciendo la innovación, la conexión entre temas no habituales y el pensamiento crítico.*

## Introducción

En las últimas dos décadas, la formación en Ingeniería fue mutando desde un énfasis casi exclusivo en la solvencia técnico-instrumental hacia la incorporación de modelos que integran saberes, habilidades y disposiciones propias de tradiciones humanísticas y de las ciencias sociales (González, 2025). Este giro no pretende diluir el rigor técnico, sino expandirlo al incorporar competencias de lectura crítica, comunicación, reflexión ética y creatividad, todas ellas indispensables para intervenir en sistemas sociotécnicos complejos. En particular, los campos de la gestión y ciencia de datos demandan profesionales capaces de articular el dominio tecnológico con la comprensión de los contextos culturales y las implicancias sociales del procesamiento masivo de información.

Este trabajo presenta y analiza una experiencia didáctica implementada a lo largo de un semestre en la asignatura Gestión de datos e información de la carrera de Ingeniería en Innovación en la Universidad Siglo 21. La propuesta articuló textos literarios de Jorge Luis Borges con conceptos y prácticas de Big Data, tomando como eje el libro de divulgación Borges, Big Data y yo, del econometrista Walter Sosa Escudero. El dispositivo pedagógico buscó crear un puente entre dos mundos que, a priori, se perciben distantes: la literatura y la ingeniería de datos. La idea fue que la literatura promueva la curiosidad sobre como laboratorio de ideas, metáforas y preguntas filosóficas, y el mundo del análisis de datos introduzca las técnicas para la captura, almacenamiento, procesamiento y explotación de grandes volúmenes de datos en contextos reales.

Desde una perspectiva de didáctica de la ingeniería, la experiencia se propuso tres objetivos complementarios. Primero, ensanchar el marco conceptual con el que las y los estudiantes abordan los datos, incorporando nociones como volumen exorbitante de información, incertidumbre, sesgos y privacidad, con consecuencias directas sobre la práctica profesional. Segundo, fortalecer competencias transversales de lectura analítica, argumentación y de presentación en público, y trabajo colaborativo, alineadas con perfiles profesionales que priorizan la innovación, el diseño y la comunicación de soluciones. Tercero, conectar metáforas literarias con problemas técnicos, aprovechando la potencia heurística de relatos borgeanos (el archivo infinito de “El Aleph”, los laberintos y bifurcaciones, la memoria total de “Funes el memorioso”, las taxonomías arbitrarias) para problematizar principios y límites de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ingeniería de datos contemporánea (volumen, variedad, velocidad, veracidad; correlación/causalidad; escalabilidad de infraestructuras; trazabilidad y gobierno de datos).

Operativamente, la actividad se organizó mediante grupos que, a lo largo del semestre, adoptaron un capítulo del libro de Sosa Escudero. Cada equipo preparó una presentación para transferir a sus pares: explicaron los conceptos del capítulo, examinaron los cuentos y referencias borgeanas mencionadas en el texto base y diseñaron una actividad práctica que vinculara los elementos con soluciones o conceptos de gestión de datos. La modalidad mantuvo un balance entre opciones creativas en los formatos (exposiciones con apoyos visuales, recursos interactivos, materiales digitales) y un andamiaje común: guías de lectura, rúbricas de evaluación por pares y momentos de retroalimentación docente.

En términos de participación y formatos, se observó una adopción amplia de soportes digitales, con presentaciones visualmente cuidadas, uso de material audiovisual y códigos QR, así como actividades lúdicas de aplicación. A la vez, emergió una tensión pedagógica relevante: aun con consignas abiertas, muchos equipos reprodujeron modelos expositivos tradicionales, lo que invita a deliberar sobre cómo promover dinámicas más exploratorias y dialógicas en entornos de ingeniería. Estas y otras observaciones proceden del documento que describe la experiencia y sus resultados cualitativos, incluyendo percepciones estudiantiles sobre motivación, pertinencia y transferibilidad al quehacer técnico.

Enmarcada en la Ingeniería en Innovación, una carrera relativamente reciente cuyo foco se enmarca en la intersección de tecnología, diseño, nuevos negocios, impacto social y emprendimiento, la propuesta sirvió como campo de prueba para evaluar la relevancia de estrategias didácticas que expanden el horizonte de lo "técnico" sin perder profundidad. La hipótesis de trabajo sostiene que el diálogo entre metáfora y modelo no solo incrementa el interés y la retención de conceptos, sino que mejora la capacidad de problematización y la sensibilidad ética ante decisiones de diseño de datos, en línea con estándares internacionales de formación de ingenierías que subrayan comunicación efectiva, trabajo en equipo multidisciplinario y responsabilidad profesional.

El artículo se organiza como sigue. En primer lugar, se mencionan las orientaciones conceptuales en Marco teórico. En la sección de Metodología se detallan elementos del diseño instruccional, población, instrumentos de recolección y criterios de evaluación. La sección de Resultados describe las evidencias sobre aprendizaje conceptual, desempeño comunicativo y calidad de las actividades prácticas. La sección de Hallazgos y Aprendizajes discute patrones emergentes, tensiones y oportunidades de mejora para cursos de datos que buscan integrar perspectivas humanísticas. Finalmente, la sección de Conclusiones sintetiza contribuciones, límites y líneas futuras para institucionalizar este tipo de experiencias en planes de estudio de ingeniería.

## Marco Teórico

La experiencia descripta en el artículo se enmarca en una perspectiva interdisciplinaria que articula saberes técnicos propios de la ingeniería con enfoques humanísticos, particularmente literarios. Esta integración responde a una tendencia creciente en la educación superior que busca formar profesionales capaces de intervenir en sistemas sociotécnicos complejos, combinando competencias técnicas con habilidades críticas, comunicativas y éticas.

Desde el punto de vista teórico, con foco en las discusiones ampliamente difundidas actualmente sobre la formación de las carreras en Ingeniería en general (González, 2025) el proyecto se apoya en tres pilares fundamentales:

Educación en Ingeniería con enfoque multidisciplinar: La formación tradicionalmente técnica en ingeniería está siendo complementada con modelos que promueven el pensamiento crítico, la creatividad y la reflexión ética. Esta transformación responde a estándares internacionales que valoran la comunicación efectiva, el trabajo interdisciplinario y la responsabilidad profesional, como se destacan en Alcayay (2024) y Ramírez Giraldo y López Jiménez (2014), específicamente los últimos para el caso de las habilidades de comunicación escrita.

Big Data como fenómeno sociotécnico: Más allá de su dimensión técnica, el Big Data implica desafíos éticos, sociales y culturales. Conceptos como volumen, variedad, velocidad, veracidad, sesgo, privacidad y gobernanza de datos requieren una comprensión que excede lo instrumental, demandando una mirada crítica sobre su impacto en la sociedad.

Literatura como herramienta pedagógica: La obra de Jorge Luis Borges, con sus metáforas sobre la memoria, el infinito, la clasificación y la ambigüedad, ofrece un marco heurístico para problematizar los fundamentos del Big Data. Textos como "El Aleph", "Funes el memorioso" y "La biblioteca de Babel" permiten explorar los límites del conocimiento, la organización de la información y la relación entre datos y sentido.

El cruce entre estos tres ejes configura un marco conceptual que habilita nuevas formas de enseñanza en ingeniería, promoviendo la innovación pedagógica y la formación integral de los estudiantes.

Asimismo, como marco general, la actividad de aplicación, centrada en la participación y desarrollo de opciones creativas y multidisciplinares, vinculadas con lograr el mayor "engagement" de los estudiantes a través de diversos dispositivos, se enmarca en el paradigma de Educación positiva (Seligman, 2011). Las diferentes contribuciones integrales a optimizar resultados académicos acordes con el plan de vida personal colaboran en diversos logros individuales y colectivos en el recorrido académico, como revelan estudios previos (Merlino et al., 2012; CEPAL, 2017). La incorporación de herramientas tecnológicas disponibles y ampliamente difundidas, genera

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



por una parte más posibilidades de apropiárselas en términos prácticos, motivación en la tarea y aprendizaje colaborativo (Herrero Zamora (a), 2024; Herrero Zamora (b), 2024).

## Metodología

La experiencia se llevó a cabo en el marco de la carrera de Ingeniería en Innovación de la Universidad Siglo 21, en el semestre correspondiente al curso del año 2024. La asignatura en la que se implementó, Gestión de datos e información, se ubica en el octavo semestre del plan de estudios, lo que asegura que los estudiantes cuenten con conocimientos previos en bases de datos, sistemas operativos y automatización. Estos prerrequisitos brindaron el andamiaje técnico necesario para abordar los contenidos del curso, a la vez que la formación humanística de los primeros años ofrecía un antecedente mínimo en competencias críticas y comunicativas.

La propuesta se diseñó con el objetivo de integrar resultados de aprendizaje técnicos y transversales. En lo técnico, se buscó consolidar la comprensión de los fundamentos de Big Data, tales como el manejo de grandes volúmenes de datos, la identificación de sesgos, la privacidad y la interpretación de correlaciones. En lo transversal, se promovieron habilidades de trabajo en equipo, argumentación, comunicación efectiva y creatividad en la presentación de ideas. Estos objetivos se alinearon con las competencias de egreso de la carrera, que enfatizan la innovación y la capacidad de los futuros profesionales para desenvolverse en contextos interdisciplinarios.

El dispositivo pedagógico tomó como insumo principal el libro “Borges, Big Data y yo”. A lo largo del semestre, cada grupo de estudiantes se responsabilizó por un capítulo del libro, que debía ser trabajado de manera autónoma. La presentación de capítulos se organizó en función del orden de capítulos del libro, de modo que la progresión de las exposiciones acompañara la complejidad conceptual planteada en el texto. De este modo, todos los estudiantes tuvieron la oportunidad de vincular aspectos técnicos de Big Data con relatos literarios de Borges, entre los que se destacan como “El Aleph”, “La biblioteca de Babel”, “El jardín de senderos que se bifurcan” o 'Funes el memorioso'.

La dinámica de trabajo contempló varias etapas. Inicialmente, se presentó la propuesta y se entregaron las pautas de evaluación, basadas en una rúbrica que consideraba criterios como contenido, claridad expositiva, uso de recursos, actividad práctica y estética visual. Luego, los grupos contaron con semanas de preparación autónoma, acompañadas de instancias de tutoría y retroalimentación docente. Finalmente, cada grupo presentó su capítulo en clase, con un tiempo máximo de 30 minutos, seguido de una actividad participativa dirigida a sus compañeros.

Los formatos de presentación fueron abiertos: desde presentaciones tradicionales apoyadas en diapositivas hasta recursos interactivos y materiales digitales con códigos QR, videos y dinámicas lúdicas. La flexibilidad en los formatos buscó estimular la creatividad y la apropiación personal de los contenidos.

La evaluación de la experiencia combinó la valoración docente, registrada en planillas con escalas de desempeño, con la participación de los propios estudiantes a través de coevaluaciones y retroalimentaciones cruzadas. Esta estrategia de evaluación mixta permitió capturar tanto la calidad técnica como la pertinencia ética y creativa de las propuestas.

En cuanto a la población, participaron 35 estudiantes, de los cuales un 40% fueron mujeres y el resto varones. La mayoría tenía entre 20 y 22 años, y pocos habían tenido contacto previo con la literatura borgeana. Los grupos se conformaron por afinidad, con entre tres y cuatro integrantes cada uno. Este criterio de autoselección favoreció la cohesión y la responsabilidad compartida en el trabajo.

Finalmente, se contemplaron consideraciones éticas vinculadas al uso de datos. Si bien no se trabajó con información sensible de los estudiantes, sí se promovió la reflexión sobre la privacidad y la seguridad en el tratamiento de datos masivos, como parte de los contenidos del curso.Nombre(s) de Autor(es) y filiaciones institucionales

## Desarrollo de la experiencia

El desarrollo de la experiencia estuvo marcado por una secuencia progresiva que combinó instancias de trabajo autónomo con espacios colectivos de exposición y debate. Durante las primeras semanas del semestre, se introdujo el propósito del proyecto, se explicó la lógica de articulación entre literatura y Big Data, y se asignaron los capítulos del libro a los grupos. Cada equipo asumió la responsabilidad de leer su capítulo y vincularlo con un cuento de Borges y con los conceptos técnicos de la asignatura.

En la fase de preparación, los estudiantes trabajaron fuera del aula en la lectura y diseño de sus presentaciones. La docente se mantuvo disponible para consultas y orientación, pero la organización del trabajo fue principalmente autónoma. Esta decisión buscó fomentar la autogestión y el sentido de responsabilidad de los estudiantes. A lo largo del proceso, surgieron consultas sobre la pertinencia de los materiales, el modo de diseñar actividades participativas y la forma de integrar recursos digitales.

Las exposiciones comenzaron en la cuarta semana del semestre y se extendieron hasta el cierre de la materia. Cada grupo disponía de 30 minutos para presentar su capítulo, exponer los conceptos principales de Big Data, conectar con las metáforas literarias y proponer una actividad aplicada para sus compañeros. Entre las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



dinámicas que se implementaron se destacaron juegos de preguntas interactivas, análisis colectivos de fragmentos de cuentos y simulaciones de toma de decisiones basadas en datos. Algunas presentaciones incorporaron recursos audiovisuales, como videos breves o infografías, mientras que otras optaron por dinámicas más tradicionales.

En cuanto a la participación, la mayoría de los estudiantes se involucró activamente tanto en las exposiciones como en las actividades posteriores. Hubo casos en los que las presentaciones tendieron a reproducir formatos expositivos clásicos, con menor interacción con el público. Sin embargo, en general, se observó un esfuerzo por innovar en los recursos utilizados y en la forma de vincular los conceptos técnicos con las narrativas literarias. El uso de códigos QR para acceder a material adicional, la integración de fragmentos de películas o series inspiradas en Borges y la creación de actividades lúdicas fueron ejemplos de esta búsqueda de originalidad.

Una observación interesante fue la manera en que los estudiantes resignificaron la figura de Borges, un autor que muchos conocían solo de nombre. La lectura de cuentos como 'Funes el memorioso' o 'La biblioteca de Babel' se convirtió en un disparador para pensar temas como la memoria, el exceso de información o la arbitrariedad de las clasificaciones. De este modo, la literatura sirvió como un espejo que permitió problematizar principios técnicos de Big Data desde una perspectiva más amplia.

Hacia el final del semestre, la actividad alcanzó un cierre integrador. Los estudiantes destacaron la utilidad de haber vinculado dos mundos aparentemente lejanos y reconocieron que la propuesta les permitió desarrollar habilidades más allá de lo técnico. Entre los aprendizajes mencionados se incluyeron la mejora en la comunicación oral, el trabajo colaborativo, la creatividad en el uso de recursos y la capacidad de reflexionar críticamente sobre el impacto de los datos en la sociedad contemporánea.

En síntesis, el desarrollo de la experiencia mostró que la combinación entre literatura y Big Data no solo es posible, sino que resulta altamente enriquecedora. La actividad funcionó como un laboratorio de ideas en el que los estudiantes pudieron explorar, experimentar y proyectar nuevas formas de pensar la ingeniería en diálogo con la cultura.

## Hallazgos y aprendizajes

### Diagnóstico inicial: familiaridad con Borges y Big Data

La encuesta diagnóstica aplicada al inicio del curso (completada por aproximadamente dos tercios de los alumnos que cursaron la materia) permitió delinear un mapa de partida en cuanto a experiencias previas y conocimientos iniciales. El 100% del estudiantado manifestó haber oído hablar de Big Data, aunque solo un grupo minoritario logró definirlo con precisión. Las definiciones recopiladas oscilaban entre ideas vagas como “enorme cantidad de datos” y nociones más cercanas a su comprensión técnica, como “gran volumen de datos manipulables”.

En cuanto a Jorge Luis Borges, el 80% de los estudiantes reconoció haber escuchado hablar del autor, pero solo una parte había leído alguna de sus obras, y en su mayoría por motivos escolares. Las referencias temporales sobre su vida eran imprecisas, revelando un conocimiento superficial. No obstante, las respuestas sobre el libro “Borges, Big Data y yo” anticipaban una apertura al cruce entre literatura y tecnología, lo que indicaba disposición para explorar enfoques interdisciplinarios.

Este diagnóstico fue clave para ajustar el tono inicial del curso, reforzar conceptos básicos y facilitar el ingreso gradual a las conexiones entre los universos de Borges y los desafíos de la ingeniería de datos.

### Emergentes generales de la actividad en el curso

A lo largo del semestre, se evidenció una mejora sostenida en los niveles de comprensión de los conceptos fundamentales del curso. Indicadores como las “V” del Big Data (volumen, variedad, velocidad, veracidad), muestreo, sesgo, privacidad y gobernanza fueron apropiados con profundidad creciente. Dos evaluaciones teóricas distribuidas durante el cuatrimestre mostraron que el 80% del alumnado alcanzó resultados sobresalientes, habilitando la promoción directa de la asignatura.

Este rendimiento representó un salto del 12% en la tasa de promoción con respecto al año anterior, lo que sugiere que la metodología basada en el cruce con la literatura y el trabajo grupal podría haber aportado positivamente en el aprendizaje, al menos como uno de los factores relevantes.

El aporte en la comunicación fue evidente, especialmente en la capacidad para articular oralmente conceptos técnicos de forma natural y precisa. Los estudiantes incorporaron progresivamente el vocabulario propio del Big Data y exploraron términos inusuales provenientes de los cuentos borgeanos. La lectura de Borges obligó a detenerse en palabras que no forman parte del discurso habitual de ingeniería, para la mayoría.

También se observaron mejoras en la argumentación crítica. Las presentaciones incluyeron preguntas abiertas, análisis de supuestos y discusiones sobre los límites éticos del uso de datos. En varios casos, se plantearon dilemas relacionados con privacidad, manipulación y vigilancia, promoviendo un pensamiento más complejo y éticamente orientado.

### Características de las presentaciones

Las presentaciones grupales alcanzaron un estándar elevado tanto en contenido como en forma. En casi todos los casos se utilizaron recursos digitales sofisticados,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



muchos diseñados con herramientas de inteligencia artificial generativa. La estética visual, la organización del discurso y la incorporación de referencias externas fueron puntos destacados por la docente y los pares.

Más allá de lo contenido en el libro, varios grupos desarrollaron investigaciones adicionales sobre los cuentos de Borges o sobre los contextos históricos en los que fueron escritos, para complementar elementos de la presentación. Esto no solo reflejó compromiso, sino también una apropiación creativa del material. Las conexiones entre metáforas borgeanas y principios de Big Data —como la memoria infinita en "Funes el memorioso" o la explosión combinatoria en "La biblioteca de Babel"— lograron llamar la atención y derivar en preguntas posteriores desde la curiosidad y sorpresa.

Todos los grupos asistieron completos el día de su propia exposición, aunque se registraron ausencias aisladas en fechas ajenas. Aun así, los estudiantes presentes mostraron una participación y entusiasmo en las actividades diseñadas por sus compañeros, que fueron en su mayoría lúdicas e interactivas. En cada caso, hubo una clara apropiación de los contenidos por parte del grupo expositor y una disposición generalizada a interactuar con las propuestas de los otros.

La modalidad competitiva en las actividades propuestas por los grupos como control de comprensión del tema por parte de sus compañeros como oyentes, y la variedad de recursos usados (videos, códigos QR, desafíos con recompensas) generaron un ambiente positivo, lejos de la pasividad que muchas veces caracteriza a algunas clases. Se destacaron los juegos de atención, los acertijos combinados y los simulacros de toma de decisiones. Estas actividades de aplicación, que debían conectar el contenido literario con conceptos técnicos, lograron en su mayoría una transferencia pertinente y creativa. Aunque no siempre se vinculaban con los capítulos ya expuestos previamente —lo cual podría ser una mejora futura—, las propuestas lograron despertar interés y facilitar la apropiación de conceptos abstractos a través de desafíos prácticos.

Los productos concretos fueron en su mayoría digitales: presentaciones, guías visuales, y materiales de actividades. Hubo algunos elementos físicos diseñados para las actividades prácticas (como tarjetas o fichas impresas), pero fueron la excepción. Si bien no se generaron datasets ni scripts, las producciones cumplieron con los objetivos formativos del curso al facilitar la comunicación de ideas complejas de forma accesible y atractiva.

Se observó una cierta relación entre el uso de recursos visuales o interactivos y una mayor claridad en la exposición de ideas. Los grupos que utilizaron infografías, esquemas animados o videos explicativos mostraron también un mejor manejo conceptual del material. No se trata solo de una cuestión estética, sino elementos que ayudaron a estructurar las ideas y conectar conceptos.

### Limitaciones y factores con oportunidades de mejora

Como primera inquietud aparece la dificultad de innovar en los formatos y la tendencia a repetir estructuras clásicas de exposición, lo cual genera hipótesis relacionadas con la imitación de las maneras de desarrollar las clases de los propios docentes que observan, como también la posibilidad de los estudiantes de cumplir con la tarea con lo que consideran que se espera de una presentación. Si bien se habilitó total libertad para los formatos, la mayoría de las presentaciones reprodujo un esquema tradicional: exposición con diapositivas, división de temas por integrante y actividad de cierre. Solo algunos grupos exploraron con mayor profundidad recursos alternativos, como instalaciones interactivas basadas en Borges disponibles en la web y otros recursos narrativos disponibles identificados.

También se evidenció cierta desigualdad en los niveles de análisis: algunos equipos integraron superficialmente las metáforas literarias, limitándose a mencionarlas sin desarrollarlas, mientras que otros lograron establecer relaciones más profundas con los conceptos técnicos del curso.

## Conclusiones

La experiencia desarrollada en el curso de Gestión de datos e información evidenció que la integración en la enseñanza de ingeniería no solo es viable, sino también enriquecedora. El cruce entre los relatos de Borges y los conceptos de Big Data permitió ampliar el marco conceptual de los estudiantes, promoviendo aprendizajes significativos en torno a la comunicación y la reflexión sobre el uso de datos en la sociedad contemporánea. Entre los principales aportes se destacan el fortalecimiento de habilidades transversales como la argumentación, el desarrollo de presentaciones y el trabajo colaborativo, así como una mejora en la apropiación de conceptos técnicos complejos.

El potencial de replicabilidad de esta propuesta en otros cursos de ingeniería es alto, especialmente en asignaturas que abordan problemáticas sociotécnicas o que buscan fomentar actividades interdisciplinarias. La estructura flexible del dispositivo pedagógico, basada en presentaciones grupales, actividades prácticas y uso de recursos digitales, permite su adaptación a diferentes modalidades de aprendizajes, contextos curriculares y niveles de formación.

Para futuras implementaciones, se considera profundizar en el diseño de actividades que promuevan formatos más exploratorios, evitando la reproducción de esquemas expositivos tradicionales. Asimismo, sería valioso incorporar instancias de reflexión y evaluación continua que permitan a los estudiantes identificar sus propios procesos de aprendizaje.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Referencias

[1] Ancayay, V., (2024) Integración de Proyectos de Ingeniería Multidisciplinarios en el Currículo Universitario: Estrategias para Fomentar la Colaboración y la Resolución de Problemas Complejos. Reincisol, 3(6), pp. 4928-4946. https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)4928-4946

[2] CEPAL. (2017). Brechas, ejes y desafíos en el vínculo entre lo social y lo productivo. Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/handle/11362/41587

[3] Gonzalez, R.V. (2025). Engineering Education in the Age of Accelerations. In: Adapting Engineering Education to a Rapidly Changing World. Synthesis Lectures on Engineers, Technology, & Society. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78908-3_3

[4] Hernández Herrera, C. y Neri Torres, J. (2020). Las habilidades blandas en estudiantes de ingeniería de tres instituciones públicas de educación superior. Revista Iberoamericana para la Investigación y el desarrollo educativo. Vol. 10, Núm. 20. https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/678

[5] Herrero Zamora, V. (2024). Experiencia de uso de herramientas de Inteligencia Artificial en un curso universitario: evaluación y perspectivas. Revista Internacional De Pedagogía E Innovación Educativa, 4(1), 41-54.

[6] Herrero Zamora, V. (2024). Diseño y aplicación en un curso de Ingeniería de un proyecto con afinidad literaria. Boletín Opiniones Iberoamericanas en Educación. Año 6, Número 46, p. 5-7. http://ojs.umc.cl/index.php/bolibero/issue/view/81/118

[7] Merlino, A., Ayllón, S., Herrero, V., Escanés, G., Pereno, G., Moretti, L., Ortíz, A., Medrano, L., Gómez, S., Bustamante, L, Depetris, J. (2012). Experiencias en investigación educativa: deserción, regulación emocional y representaciones en estudiantes universitarios. Editorial Brujas: Córdoba.

[8] Ramírez Giraldo, R. y López Jiménez, G. (2014). La lectura y la escritura en la formación de los ingenieros. Encuentro internacional de formación de ingenieros. https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1223/1227

[9] Seligman, M. (2011). Florecer. La nueva psicología positiva y la búsqueda de bienestar (Flourish: A Visionary New Understanding of Happiness and Well-being). Free Press. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25131w/florecerpt1.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Del diseño a la implementación: una experiencia de integración de competencias mediante ABP en Ingeniería

*Mercedes Soria[1]; Laura Tosselli[1]*
*[1]UTN Facultad Regional Villa María*
msoria@frvm.utn.edu.ar; laura.tosselli@gmail.com

## Resumen

*Este trabajo presenta una experiencia de integración de competencias en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información mediante la implementación de un Trabajo Práctico Integrador definido en la estrategia del Aprendizaje Basado en Proyectos. La propuesta se desarrolló en el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo y se aplicó durante el primer cuatrimestre del año 2025 en la asignatura Investigación Operativa. A partir de un problema real —el diseño de un sistema de transporte universitario colaborativo— los estudiantes debieron planificar, modelar y validar una solución contextualizada, incorporando además criterios de accesibilidad, seguridad, legalidad, y perspectiva de género. La implementación incluyó la utilización de rúbricas alineadas a competencias, entregas por etapas y revisión formativa. El análisis de las producciones y de las evaluaciones docentes evidencia una apropiación significativa de la propuesta, aunque también se identificaron desafíos vinculados a la articulación entre conocimientos previos, la documentación de decisiones y la planificación del producto mínimo viable.*

**Palabras clave**: Aprendizaje Basado en Proyectos, Ingeniería en Sistemas, Evaluación por competencias.

## Introducción

La implementación de los nuevos diseños curriculares en las carreras de ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) significó un cambio de paradigma al adoptar un modelo de formación por competencias, reorganizando la enseñanza en función de resultados de aprendizaje observables. Si bien el perfil de egreso contempla competencias genéricas y específicas, éstas se estructuran en función de áreas disciplinares diferenciadas, sin que se explicite una estrategia para su integración transversal entre asignaturas diferentes a los grados de desarrollo de cada competencia. En ese sentido, el presente trabajo se enmarca en un Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) que busca explorar cómo integrar saberes provenientes de materias básicas y de la especialidad a través de propuestas pedagógicas situadas. Este giro requiere propuestas de enseñanza que articulen conocimientos, promuevan aprendizajes significativos y respondan a problemáticas reales del entorno profesional.

En este marco se inscribe el Proyecto de Investigación TEECVM0010030, orientado a diseñar e implementar estrategias interdisciplinarias de enseñanza con perspectiva de género. Entre las estrategias seleccionadas, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) ocupa un lugar central, al situar a los estudiantes frente a problemas auténticos que demandan la aplicación de conocimientos, habilidades y actitudes propias del ejercicio profesional.

El ABP se presenta como una metodología que promueve el aprendizaje significativo, colaborativo y autónomo [1-2], situando al estudiante como protagonista del proceso, en un contexto que favorece la integración de saberes teóricos y prácticos, así como competencias genéricas y específicas. En la formación en ingeniería, esta metodología favorece tanto la adquisición de conocimientos técnico-disciplinario como el desarrollo de competencias transversales —comunicación, trabajo en equipo, resolución de problemas complejos, entre otras—, que resultan esenciales para el ejercicio profesional [3-4].

A la par, este proyecto incorpora de manera transversal la perspectiva de género, en línea con las normativas institucionales de UTN [5] y con las recomendaciones de organismos internacionales como UNESCO[6], que subrayan la necesidad de incrementar la participación de mujeres y diversidades en carreras de ingeniería con la finalidad de conseguir diseños más diversos e inclusivos. La integración de esta perspectiva en propuestas de ABP permite diseñar problemas y soluciones libres de sesgos, inclusivas y socialmente responsables.

Durante el año 2024, el equipo de investigación presentó en el congreso “IDETEC 2024” una primera propuesta denominada “Uber Universitario”, que constituyó un diseño didáctico-pedagógico para abordar una problemática local: la optimización del transporte de estudiantes de la Facultad Regional Villa María mediante una aplicación de viajes colaborativos [7]. La experiencia sirvió para consolidar criterios de selección de problemas, planificación de actividades y posibles articulaciones entre asignaturas, y derivó en la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



implementación curricular del primer cuatrimestre del año 2025, dentro de la asignatura Investigación Operativa de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información que se encuentra en el cuarto nivel de la carrera [8].

El Trabajo Práctico Integrador (TPI) planteó como desafío el diseño e implementación de un prototipo funcional de la aplicación, priorizando la seguridad y el acceso exclusivo mediante credenciales institucionales. El problema respondía a una necesidad concreta de la comunidad universitaria, vinculando competencias técnicas disciplinarias, genéricas y valores institucionales. La propuesta se estructuró en tres entregas parciales: la primera, dedicada a la definición del proyecto y planificación; la segunda, al análisis, diseño y arquitectura; y la tercera, al desarrollo del prototipo y validación.

Durante todo el proceso, los estudiantes trabajaron en equipos de seis a siete integrantes, con acompañamiento docente y acceso a recursos de los departamentos de Ingeniería en Sistemas y de Materias Básicas. La evaluación se sustentó en una rúbrica diseñada ad hoc, que contempló aspectos como análisis del problema, diseño del sistema, desarrollo y calidad del código, pruebas y validación, gestión del proyecto, trabajo en equipo y presentación final. Dicha rúbrica permitió integrar la evaluación formativa y sumativa, ofreciendo retroalimentación continua y orientada a la mejora del producto y del proceso.

## Trabajos relacionados

Existen diferentes trabajos relacionados a la aplicación de la metodología ABP en diferentes países y contextos. A continuación se presentan algunos de ellos.

En el año 2009, en la Universidad Nacional de Río Cuarto (Argentina), se implementó el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) dentro de la enseñanza de la metodología de investigación dirigida a estudiantes de ingeniería. La propuesta tuvo como propósito favorecer un rol más activo de los alumnos en su propio proceso formativo, promoviendo la articulación de saberes de distintas áreas para enfrentar situaciones reales y de alta complejidad. Los resultados evidenciaron que el ABP plantea tanto retos como oportunidades pedagógicas, contribuyendo al desarrollo de competencias fundamentales como el trabajo colaborativo y la capacidad para resolver problemas [9].

A su vez, en la Universidad de São Paulo, Brasil, en el marco de un curso de "Planificación y Análisis de Sistemas de Transporte", se implementó Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) combinado con plataformas a distancia entre los años 2006 y 2015. El propósito principal de dicha propuesta fue la formación de profesionales adaptables, mejorando la comprensión y rendimiento mediante problemas reales y trabajo en grupo. Los estudiantes evaluaron positivamente la propuesta, destacando mejoras en trabajo cooperativo y actitud profesional, aunque se enfrentaron a desafíos como el tiempo requerido y la burocracia institucional [10].

En Colombia, particularmente en la Universidad de Los Andes, durante el año 2016, dentro del marco de la Maestría en Educación, se desarrolló el curso "Educación en STEM" utilizando ABP basado en proyectos. El objetivo fue promover habilidades como el trabajo en equipo y pensamiento crítico a través de un proyecto de semestre. Los talleres y discusiones virtuales se centraron en el diseño de ingeniería y la integración de disciplinas STEM, resultando en un proceso colaborativo y enriquecedor para los estudiantes [10].

Adicionalmente en Colombia, para programas de Ingeniería, como por ejemplo en los cursos de Control Automático, el ABP se utiliza para integrar conocimientos teóricos y prácticos, considerando las necesidades de la industria y el equilibrio entre teoría y práctica. Se promueve el desarrollo de competencias blandas y habilidades técnicas, preparando a los estudiantes para el ejercicio profesional en condiciones simuladas [10].

También, en la Universidad Nacional de Costa Rica, desde el año 2009, en la carrera de Ingeniería en Sistemas, se adoptó el ABP orientado a proyectos para mejorar la formación profesional. Se integraron problemas reales de la industria en proyectos que evaluaban tanto conocimientos técnicos-disciplinares como habilidades genéricas y transversales. La evaluación, antes centrada en pruebas escritas, se desplazó hacia proyectos, autoevaluación y coevaluación, reflejando mejor la aplicación práctica del conocimiento [10].

Finalmente, en Perú, Universidad de Piura, se adoptó un enfoque híbrido de ABP en los cursos para Ingeniería en Sistemas, con el objetivo de aumentar el interés en las ciencias y conectar la teoría con problemas prácticos. Desde el primer día del semestre, los estudiantes trabajan en grupos donde la evaluación continua no solo mide resultados, sino también mejora el proceso de aprendizaje [10].

A diferencia de otras experiencias de ABP reportadas en el ámbito de la enseñanza de la ingeniería en América Latina, la propuesta aquí presentada se distingue por integrar de manera explícita la perspectiva de género y la evaluación por competencias mediante rúbricas formativas, en el marco de un proyecto institucional de investigación y desarrollo (PID). Esta combinación permitió articular docencia, investigación y extensión universitaria dentro de un contexto curricular en proceso de transición hacia el modelo de resultados de aprendizaje, otorgando al trabajo un carácter innovador tanto en su posicionamiento pedagógico como en su dimensión inclusiva. De este modo, la experiencia no solo busca validar la eficacia del ABP como estrategia de integración de saberes, sino

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



también explorar cómo los principios de equidad, accesibilidad y responsabilidad social pueden incorporarse de forma estructural en la formación del ingeniero o ingeniera.

## Diseño metodológico y desarrollo de TPI

La experiencia se diseñó bajo la estrategia de ABP, integrando competencias genéricas y específicas de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. La propuesta combinó consignas claras, cronograma de entregas y criterios de evaluación predefinidos. La implementación se estructuró en tres fases secuenciales:

- *Definición y planificación*: identificación precisa de la problemática, definición de requerimientos funcionales y no funcionales, y elaboración del cronograma con hitos de control.
- *Análisis y diseño*: construcción de historias de usuario, diagramas de clases y prototipos de interfaz de usuario, contemplando arquitectura y bases de datos.
- *Desarrollo y validación del prototipo*: creación de mockups navegables, pruebas de usabilidad y presentación formal, incorporando retroalimentación y ajustes.

Para orientar el trabajo de los equipos, se entregó una consigna detallada que funcionó como andamiaje estructural del proyecto. En ella se especifican los objetivos generales, los entregables por fase (Figura 1), los criterios de calidad esperados y las condiciones para la validación del prototipo. Esta documentación fue clave para alinear expectativas, promover la autonomía y delimitar los márgenes de decisión técnica.

**ENTREGA 1**:

**FECHA LÍMITE: 30/04/2025**

**1. Definición del Proyecto**

☑ **Identificación del problema y oportunidad:** Definir la necesidad que la aplicación solucionará.

**2. Planificación y Requerimientos**

☑ **Obligatoria - Definición de requerimientos funcionales y no funcionales:** Establecer qué debe hacer la app y bajo qué condiciones. ☑ **Obligatoria - Cronograma de trabajo:** Indicar entregables en hitos de control (fijados por el proyecto).

**ENTREGA 2**:

**FECHA LÍMITE: 21/05/2025**

**3. Análisis, Diseño y Arquitectura**

☑ **Descripción y modelado de requerimientos:** elaboración de historias de usuario de las principales funcionalidades (obviar las actividades de soporte).

☑ **Modelado de estructura de datos:** elaboración de y diagrama de clases.
☑ **Diseño de UX/UI:** Crear wireframes o bocetos de la interfaz de usuario.
◦ **Sugerida - Diseño de arquitectura del software:** Definir capas y componentes del sistema.

☑ **Pruebas de usabilidad con usuarios:** Evaluar la experiencia del usuario.

**6. Presentación y Documentación**

☑ **Documentación del prototipo:** Explicar el propósito y funcionamiento. ☑ **Presentación del prototipo a stakeholders o evaluadores:** Exposición de resultados.
◦ **Sugerida - Creación de un video demostrativo o landing page:** Para promocionar la idea.

**Figura 1.** Fragmento de la consigna original del Trabajo Práctico Integrador, donde se detallan las entregas por fase y los requerimientos asociados a cada etapa.

En la consigna original se incluyeron orientaciones específicas sobre funcionalidades no obligatorias —como la gestión de pagos o el sistema de calificaciones— y se establecieron condiciones vinculadas al uso exclusivo por credenciales institucionales y al tratamiento de aspectos legales. Estas delimitaciones no solo acotaron el alcance técnico del proyecto, sino que también promovió la consulta con otras asignaturas mientras que, hacia el interior de los grupos habilitaba discusiones relevantes sobre seguridad, legalidad, viabilidad, y responsabilidad institucional.

Por último, el acompañamiento docente se organizó mediante tutorías disponibles durante las clases presenciales, y a través de la plataforma virtual, adaptadas a las necesidades de cada equipo. Aunque se alentó a los estudiantes a articularse con otras cátedras para complementar saberes de otras áreas disciplinares o técnicos específicos, este aspecto no se trabajó de manera sistemática en el aula. La evaluación, estructurada a partir de una rúbrica diseñada ad hoc, permitió explicitar criterios, alinear expectativas y dar seguimiento tanto al proceso como al producto final de cada equipo, reforzando la transparencia y la coherencia pedagógica de la propuesta.

## Resultados obtenidos

En particular, se abordó uno de los contenidos centrales de la asignatura: el modelado de redes mediante algoritmos de búsqueda de rutas óptimas. Esta propuesta ofreció un marco situado para trabajar el Resultado de Aprendizaje 2 (RA2): “resuelve modelos de redes para el cálculo de rutas mínimas, flujos máximos y tiempos/costos de proyectos, aplicando algoritmos y técnicas específicas en contextos de certidumbre e incertidumbre”

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La implementación del TPI permitió constatar que, aun en un lapso acotado de un cuatrimestre, es posible articular diferentes aprendizajes y competencias en torno a un problema de interés real para la comunidad universitaria. En particular, se abordó uno de los contenidos de la asignatura: el modelado de redes mediante algoritmos de búsqueda de rutas óptimas. Esta propuesta ofreció un marco situado para trabajar el Resultado de Aprendizaje 2 (RA2): "resuelve modelos de redes para el cálculo de rutas mínimas, flujos máximos y tiempos/costos de proyectos, aplicando algoritmos y técnicas específicas en contextos de certidumbre e incertidumbre". Desde esta perspectiva, la experiencia permitió observar, que aunque no se estableció explícitamente que algoritmo implementar, la mayoría al estar enmarcado en la asignatura implementaron de forma directa los algoritmos vistos en clase —como Dijkstra— ajustándose a los datos de prueba; otros equipos adicionalmente ampliaron su investigación hacia el uso de herramientas de geolocalización.

A su vez, la consigna común y la estructura de entregas parciales facilitaron la organización del trabajo, pero dejaron en evidencia diferencias en el grado de maduración de las soluciones y en la integración efectiva de conocimientos previos provenientes de distintas asignaturas. En términos técnicos, las entregas finales mostraron desde prototipos básicos con navegación funcional mínima, hasta propuestas con arquitectura definida, diagramas completos y diseños de interfaz próximos a un producto funcional y viable para su implementación. En la Figura 2 se muestra como ejemplo, una de las interfaces propuestas por uno de los equipos participantes del TPI.

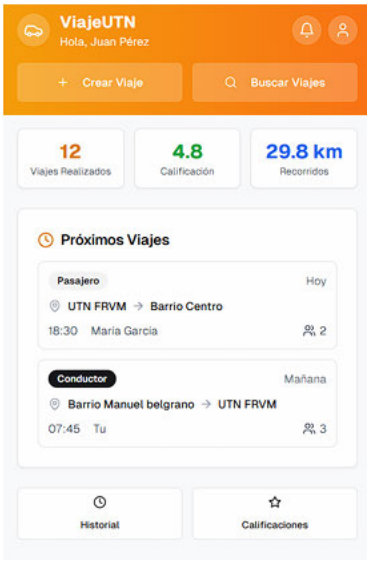



**Figura 2.** Interfaz de app propuesta por uno de los equipos participantes en TPI

Como instancia final del trabajo, los equipos debieron elaborar un video explicativo en el que presentaron de manera sintética todo el proceso desarrollado, desde la identificación del problema hasta la propuesta de solución y el estado alcanzado del prototipo o implementación. Esta actividad no solo permitió evidenciar los aprendizajes adquiridos en términos técnicos y organizativos, sino también ejercitar habilidades comunicacionales orientadas a la difusión de proyectos de software. En líneas generales, los resultados alcanzados fueron satisfactorios, dado que los grupos lograron transmitir con claridad los principales hitos del proceso y reflejar el grado de avance obtenido en función de los objetivos planteados.

La evaluación final de las producciones se realizó a partir de una rúbrica diseñada para valorar la integración de competencias técnicas, transversales y de gestión, alineadas con los objetivos del TPI y con el marco metodológico del ABP. Los resultados globales muestran un promedio general de 9,33 puntos, con un rango acotado entre 9 y 10 y un desvío estándar de 0,47, lo que evidencia un desempeño sostenidamente alto entre los equipos. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los puntos o aspectos evaluados en la rúbrica, en relación a la cantidad de equipos participantes.




**Figura 3.** Resultados obtenidos según aspectos evaluados en rúbrica

Según resultados obtenidos, la rúbrica permitió constatar que la mayoría de los equipos alcanzó excelentes niveles en los criterios vinculados con la comprensión del problema, diseño del sistema y propuesta técnica, mientras que se evidencian áreas de mejora en la explicación metodológica y la exhaustividad documental. Estas observaciones constituyen insumos valiosos para ajustar futuras implementaciones, reforzando la explicitación de procesos y el desarrollo de habilidades comunicativas en los productos entregados. En relación al Desarrollo y calidad del código, se observa que tal aspecto no pudo ser evaluado en algunos de los equipos, debido a que no

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



se llevó a cabo la implementación de la solución planteada.

Desde la perspectiva docente, el seguimiento a través de hitos y la retroalimentación continua fueron determinantes para sostener el compromiso de los equipos y favorecer un trabajo progresivo. La secuenciación en etapas facilitó la intervención oportuna ante dificultades emergentes, permitiendo ajustar tanto aspectos técnicos como organizativos. Sin embargo, se identificaron dos desafíos recurrentes: por un lado, la gestión del tiempo y la estabilización de los integrantes hacia el interior de cada equipo, especialmente en la asignación de tareas y en la sincronización de entregables; por otro, la capacidad para traducir un diseño conceptual en un prototipo funcional o producto mínimo viable (MVP), lo cual exigió diversidad de conocimientos específicos, habilidades de coordinación, toma de decisiones y adaptación ante restricciones reales.

Al cierre del cuatrimestre se aplicó una encuesta exploratoria a los equipos participantes, con el propósito de relevar su percepción sobre la experiencia de aprendizaje. Los primeros resultados, sugieren una valoración positiva del enfoque ABP, destacando la autonomía en la toma de decisiones, la relevancia del problema abordado y la aplicabilidad profesional de los conocimientos adquiridos. Estas apreciaciones preliminares aportan una primera evidencia empírica complementaria a la mirada docente y serán objeto de análisis en una publicación posterior.

En términos de evaluación formativa, las docentes señalaron tanto fortalezas como debilidades en los productos presentados. Entre las fortalezas —visibles en al menos dos equipos— se destacan:

- La claridad en el análisis del problema y su adecuada fundamentación en el contexto real de la comunidad universitaria.
- El relevamiento detallado de requerimientos funcionales y no funcionales, en consonancia con la propuesta de solución planteada.

Por el contrario, entre las debilidades —registradas en tres equipos— se observaron:

- Procesos de relevamiento insuficientemente explicitados, sin precisar las técnicas empleadas.
- Documentación incompleta en apartados clave del informe técnico.
- Argumentaciones limitadas en la justificación de determinadas decisiones de diseño.

En términos de desafíos enfrentados durante la experiencia realizada, se observó la necesidad de gestionar de manera más precisa los tiempos de desarrollo, dado que la complejidad técnica de las soluciones propuestas requiere plazos de maduración superiores a los previstos y todo ello enmarcado en las múltiples obligaciones que representa el cursado de todas las asignaturas del cuatrimestre. La experiencia corrobora que el ABP es una estrategia de aprendizaje y enseñanza eficaz para la integración de competencias cuando se alinea el diseño instruccional (consignas + secuenciación + rúbrica) con el perfil de egreso. Tres aspectos emergen como claves:

1) *Coherencia entre problema, artefactos y evaluación*. La rúbrica permitió "leer" el producto y el proceso con la misma vara, alineando el análisis de requerimientos, el diseño y el prototipado con criterios explícitos. Este encuadre fortaleció la evaluación formativa (ajustes iterativos) y la sumativa (síntesis y defensa).
2) *Interdisciplinariedad situada*. La articulación entre Investigación Operativa, desarrollo de software y diseño de experiencia evidenció que la integración de saberes no es un "agregado", sino la condición para resolver problemas complejos. Cuando los equipos lograron explicitar dependencias (datos – algoritmos – interfaz) mejoraron la calidad técnica y la consistencia de sus decisiones.
3) *Perspectiva de género e inclusión*. La consigna exigió considerar accesos, seguridad y cuidados, y no solo eficiencia algorítmica. Allí se ve la transversalización de la perspectiva del PID: diseñar sin sesgos, con atención a experiencias concretas de uso y a riesgos legales/éticos (p. ej., exclusividad por credenciales, resguardo de datos, protocolos de seguridad o la posibilidad de elegir el género de quien conduce).

La implementación de esta experiencia permitió contrastar el diseño teórico planteado en la propuesta inicial con las condiciones y dinámicas propias de un entorno curricular real. Entre los principales logros se destaca que tres de los equipos se propusieron avanzar en aplicaciones reales para ser implementadas efectivamente en la comunidad, desarrollo que esperamos consolidar en el segundo cuatrimestre del año 2025.

## Conclusiones

La experiencia permitió trasladar una propuesta teórico-didáctica al contexto concreto de una asignatura, validando su potencial para articular competencias genéricas, transversales y específicas en torno a un problema auténtico. Si bien el ABP, cuidadosamente planificado y evaluado, permitió integrar aprendizajes y competencias de forma significativa en un periodo relativamente acotado, los hallazgos más relevantes

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



emergen al analizar cómo el diseño instruccional, las decisiones docentes y las respuestas estudiantiles se entrelazaron en la dinámica real del aula.

La coherencia entre la secuenciación del trabajo, los criterios de evaluación y el acompañamiento formativo fue un factor clave para sostener la participación activa y el compromiso de los equipos. La evidencia recogida —modelado, arquitectura, prototipos y planificación— permitió observar procesos de toma de decisiones, de resolución técnica y de construcción de consensos, aspectos muchas veces difíciles de capturar en propuestas tradicionales.

Entre los aportes más relevantes de esta experiencia se destacan la secuenciación de entregas, que permitió ordenar el proceso en fases progresivas y comprensibles; una rúbrica que equilibró la evaluación del proceso y del producto, haciendo visible lo que usualmente permanece tácito; y el conjunto de artefactos desarrollados por los equipos, que ofrecieron evidencia concreta de la integración de saberes y de la aplicación situada de conocimientos.

Desde una mirada pedagógica, la experiencia confirmó que el ABP puede habilitar un recorrido formativo completo: desde la problematización inicial hasta la elaboración de un MVP como respuesta contextualizada. La propuesta no centró la evaluación únicamente en el producto final, sino que valoró el proceso como espacio de aprendizaje: toma de decisiones, distribución de roles, documentación técnica y reformulación de objetivos. Esta perspectiva permitió visibilizar aprendizajes que suelen quedar ocultos en formatos más tradicionales, como la negociación entre pares, la justificación argumentada de elecciones y la gestión de la incertidumbre.

Uno de los aspectos más desafiantes fue sostener, desde el rol docente, una consigna abierta en un contexto donde el estudiantado manifiesta, de forma recurrente, la expectativa de recibir respuestas cerradas o soluciones "seguras". Frente a este pedido, el equipo docente optó por preservar el carácter exploratorio de la propuesta, evitando definir de manera previa metodologías, herramientas o interfaces. Esta decisión pedagógica, propia del ABP, permitió que emerjan aprendizajes habitualmente invisibilizados: desde la negociación de criterios entre pares hasta la revisión de errores como insumos valiosos para el rediseño.

Un punto crítico observado durante la implementación fue la escasa articulación efectiva con otras asignaturas. Aunque el diseño del TPI habilitaba —e incluso promovía— la consulta con docentes de materias complementarias, esta posibilidad no se tradujo en interacciones visibles ni sostenidas. Esta brecha entre lo prescripto y lo realizado abre interrogantes pedagógicos relevantes: ¿en qué medida el estudiantado reconoce valor formativo en estas instancias de diálogo interdisciplinar? ¿Se sienten habilitados para establecer vínculos más allá de la asignatura central? ¿Qué factores —culturales, institucionales o tecnológicos— median estas decisiones?. En este punto, es necesario problematizar cómo se organizan curricularmente las competencias genéricas y específicas, que en esta universidad tienden a estructurarse como bloques diferenciados (básicas y de la especialidad). Esta segmentación trae consigo viejos interrogantes del paradigma contenidista: ¿las materias específicas requieren realmente de las materias básicas? ¿En qué medida? ¿Qué contenidos y con qué profundidad? Resuenan aquí tensiones conocidas: desde la docencia, la queja de "no recuerdan nada, tengo que volver a explicarlo"; desde el estudiantado, la clásica pregunta "¿para qué me sirve esto?". Esta desconexión revela una deuda estructural en la integración horizontal y vertical del conocimiento.

Las respuestas a estas preguntas exceden lo observable en el aula, por lo que se previó una encuesta específica cuya finalidad es relevar la percepción estudiantil sobre la experiencia y la aplicación desarrollada. Si bien los resultados serán analizados en un trabajo posterior, se anticipa que permitirán contrastar la percepción docente con las formas efectivas de apropiación del proyecto por parte del estudiantado. En este punto, comienzan a visibilizarse dinámicas que tensionan el diseño original: por un lado, la escasa interacción con docentes de otras asignaturas no puede leerse sólo como falta de iniciativa, sino como parte de un escenario más complejo en el que los modos de aprender están cambiando. Videos, inteligencia artificial, tutoriales y comunidades virtuales de aprendizaje aparecen como recursos cada vez más frecuentes y suficientes para resolver dudas, lo que no necesariamente implica desinterés o desconexión, sino una reconfiguración de la consulta como práctica. ¿Se necesita del docente, o basta con acceder a una solución validada en otro entorno? ¿Qué lugar ocupan hoy los pares, las redes informales, o los repositorios colaborativos de código en la construcción del saber disciplinario? Estas preguntas, lejos de clausurar el análisis, invitan a repensar el sentido pedagógico de la articulación entre asignaturas y el rol de los docentes como mediadores de experiencias más amplias que las previstas originalmente en los programas.

Estas tensiones —entre autonomía y acompañamiento, entre consulta tradicional y autoformación digital— subrayan la importancia de indagar cómo se construye hoy el aprendizaje en entornos universitarios, especialmente en propuestas que requieren integración de saberes. En este marco, la encuesta aplicada al finalizar el cuatrimestre se diseñó con el objetivo de captar la perspectiva estudiantil sobre la experiencia vivida y la aplicación desarrollada, enriqueciendo así la reflexión pedagógica sobre el diseño e implementación de actividades integradoras.

En síntesis, la experiencia permitió no solo validar el diseño instruccional desde su planificación hasta su ejecución, sino también abrir preguntas relevantes sobre los márgenes de libertad, el sentido del acompañamiento y la capacidad real de los entornos de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



enseñanza para habilitar decisiones técnicas situadas. La motivación estudiantil, anclada en un problema auténtico, actuó como vector organizador del aprendizaje, pero el verdadero valor pedagógico residió en cómo se tensionaron y negociaron las decisiones a lo largo del proceso.

Finalmente, la variedad de soluciones desarrolladas para un mismo problema, si bien valiosa en términos de creatividad, también evidenció un efecto no anticipado del diseño inicial: al presentar un caso ya enmarcado desde su formulación, se acotaron —aunque sin clausurarse del todo— las posibilidades de exploración técnica. Esta orientación didáctica, asumida como decisión intencionada en esta primera experiencia, plantea un desafío para futuras ediciones: cómo equilibrar la necesidad de claridad en la consigna con márgenes metodológicos más amplios, que favorezcan el protagonismo estudiantil en la definición y desarrollo de sus propias estrategias de resolución.

A modo de cierre, cabe reconocer una tensión no menor que atravesó la propuesta: si bien el diseño se apoyó en una problemática real y buscó movilizar la participación estudiantil a través de la motivación por el impacto potencial del proyecto, en términos prácticos, la actividad se incorporó como instancia obligatoria de evaluación. Esta decisión respondió tanto a criterios de gestión pedagógica (como garantizar la participación de todos los equipos y evitar desigualdades en la acreditación), como a una percepción de que, en un contexto de sobrecarga, fragmentación horaria y compatibilización con el trabajo remunerado, la voluntariedad podría haber funcionado de manera desigual. La obligatoriedad —aunque efectiva en términos de implementación— plantea preguntas de fondo sobre los marcos de decisión docente: ¿qué se considera motivante desde una lógica institucional? ¿Qué lugar tienen las condiciones materiales de estudio en el diseño didáctico? ¿Cuál es el valor de uso del conocimiento producido, más allá de su valor de cambio para aprobar una asignatura? En este sentido, la propuesta dejó abierta una línea de reflexión fundamental sobre las formas contemporáneas de enseñar y aprender ingeniería, entre lo posible, lo deseable y lo necesario.

## Trabajos futuros

Si bien el diseño del TPI contempló la posibilidad de articular conocimientos adquiridos en otras asignaturas del plan de estudios, dicha integración fue pensada desde una lógica de autonomía y gestión por parte del estudiantado. Es decir, se esperaba que cada equipo recurriera libremente a los saberes previamente adquiridos —tanto disciplinares como transversales— según las necesidades que emergieran durante el desarrollo del proyecto.

Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que esta articulación no se concretó en términos de interacción con docentes o espacios institucionales de otras asignaturas de la misma carrera. De hecho, las consultas a cátedras externas fueron escasas, y la vinculación con contenidos de otras materias se apoyó, en mayor medida, en recursos informales como inteligencia artificial, tutoriales o comunidades en línea, más que en un diálogo curricular efectivo entre docentes. Este hallazgo no solo evidencia una distancia entre la intención del diseño y su implementación, sino que también pone en discusión los modos en que se espera que los saberes circulen dentro del trayecto formativo.

De cara a futuras ediciones, se propone revisar el lugar de la articulación interdisciplinaria dentro del modelo ABP, evaluando estrategias que preserven la autonomía del estudiantado pero que, al mismo tiempo, habiliten instancias concretas de colaboración entre cátedras. Esto podría incluir espacios de intercambio entre equipos docentes, acuerdos mínimos sobre contenidos nodales o dispositivos compartidos de evaluación. El objetivo no es una integración forzada, sino la construcción progresiva de escenarios pedagógicos donde los saberes de distintas disciplinas puedan encontrarse de manera más fluida y significativa, fortaleciendo así la articulación horizontal y vertical dentro de la carrera.

Se identifican, en este sentido, dos líneas prioritarias de mejora. En primer lugar, resulta necesario ajustar la relación entre la complejidad técnica del problema y los tiempos disponibles: ya sea acotando el alcance del MVP o ampliando los plazos críticos de desarrollo, para permitir soluciones más robustas sin sacrificar la reflexión sobre el proceso. En segundo lugar, se propone ampliar la participación interdisciplinaria, incorporando desde fases tempranas dimensiones como la seguridad, la experiencia de usuario y el análisis de datos, así como integrando activamente a otras asignaturas o carreras que puedan enriquecer el abordaje.

A su vez, se proyecta consolidar un conjunto de artefactos pedagógicos transferibles —plantillas, ejemplos y rúbricas— que faciliten la replicabilidad del modelo en otras cátedras o contextos. Se reafirma también el compromiso con una perspectiva de género transversal, tanto en el diseño de los equipos como en los criterios de evaluación.

En futuras implementaciones, se prevé profundizar la integración interdisciplinaria de manera sistemática, promoviendo la articulación real entre asignaturas de diferentes departamentos y áreas de conocimiento. Para ello, se planifica la conformación de equipos docentes inter-cátedra, el desarrollo de proyectos conjuntos con materias afines —como Desarrollo de Software o Matemática Aplicada— y la incorporación de espacios de coevaluación y reflexión compartida. Esta línea de trabajo buscará ir más allá de la coordinación curricular

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



formal, generando experiencias de enseñanza y aprendizaje verdaderamente integradas, que favorezcan la transferencia de saberes, la colaboración entre disciplinas y una formación más integral del futuro profesional.

Finalmente, se anticipa que los resultados de la encuesta aplicada al estudiantado —enfocada en su percepción sobre el proceso y la utilidad del ABP— serán objeto de otro trabajo presentado en este mismo Congreso, el cual permite contrastar la visión docente aquí desarrollada con la experiencia estudiantil, enriqueciendo el análisis y aportando insumos valiosos para nuevas iteraciones del proyecto.

## Agradecimientos

El grupo de investigación agradece a la cátedra de Investigación Operativa, por haber cedido el espacio para la implementación del Trabajo Práctico Integrador. A los y las docentes de los Departamentos de Ingeniería en Sistemas de Información y de Materias Básicas, por su colaboración en el desarrollo de la propuesta y finalmente a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Villa María, por brindar el marco institucional que posibilitó esta experiencia.

## Referencias

[1] Thomas, J. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning.

[2] Boss, S., & Krauss, J. (2018). Reinventing project-based learning. ISTE.

[3] Davidsen, J., Emtkjær, P. B., Holgaard, J. E., & Therkildsen, H. F. (2019). Study competencies… Aalborg University.

[4] Krueger, N. (2020). ISTE | El caso del aprendizaje basado en proyectos.

[5] CSU-UTN (2024). Ordenanza No 2066/24 Protocolo de acción e intervención institucional para prevenir, erradicar y sancionar situaciones de discriminación o violencia por razones de género, identidad de género, expresión de género u orientación sexual desde la perspectiva de derechos humanos.

[6] UNESCO (2021). Engineering for sustainable development: delivering on the Sustainable Development Goals. Paris, France, Beijing, China: United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization ; International Center for Engineering Education under the auspices of UNESCO : Compilation and Translation Press, 2021

[7] Soria, M.; Oddino S.,Tosselli L., Serassio, F., Aimar, J., Bragas, A., Marquez, C., Ortiz Quiroz, V. (2024). Integración de competencias a través del ABP en Ingeniería [paper presentado en IDETEC 2024. Octubre 2024. ISBN 978-987-8992-45-7

[8] CSU-UTN, Ordenanza N° 1877–1878 “Diseño curricular de Ingeniería en Sistemas de Información”. Plan 2023. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.

[9] Okulik, N. (2009). Aprendizaje basado en problemas. Una experiencia con alumnos de carreras de ingeniería. Revista argentina de enseñanza de la ingeniería.

[10] Tafur, M., Restrepo, A., Hernandez, C. (2017). Promoción de Educación en Ingeniería desde una Propuesta STEM Orientada por Proyectos. Publicado en Aprendizaje basado en problemas y educación en ingeniería: Panorama latinoamericano. Aalborg Universitetsforlag, 164 - 178. ISBN: 978-87-7112-646-4.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Análisis de Usabilidad y su Impacto en la Formación de Ingenieros: El Caso del Laboratorio Remoto de Cinemática

*Viviana Gasull[1], Carlos Salgado[2], Mario Peralta[3], Sergio Ribotta[4]*

*[1] Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis*

*[2] Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis*

*[3] Departamento de Informática – Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales – Universidad Nacional de San Luis*

*[4] Departamento de Informática – Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de San Luis*

*vgasull@unsl.edu.ar, csalgado@unsl.edu.ar, mperalta@unsl.edu.ar, sergioribotta@gmail.com*

## Resumen

*La Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis, cuenta con un Laboratorio Remoto (LR) de Cinemática, desarrollado en el marco de la Red Nacional Colaborativa de Laboratorios de Acceso Remoto (Red R-Lab), creada en 2018 por el Consejo Federal de Decanas y Decanos de Ingeniería (CONFEDI). Este laboratorio está compuesto por un dispositivo que incluye un carrito deslizándose sobre una rampa, lo que permite el estudio de fenómenos físicos asociados al movimiento. A través de la visualización de gráficos y datos experimentales, las/los estudiantes pueden articular los conceptos teóricos de la cinemática con la experimentación práctica, empleando tecnologías de laboratorio remoto. El acceso se realiza mediante una plataforma web diseñada por el Departamento de Aplicaciones de Tecnologías de la Información (DATI) de la Facultad.*

*Durante el presente año académico, el laboratorio remoto fue utilizado por primera vez en la asignatura Física I de las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería y Cs. Agropecuarias. El objetivo de este trabajo es analizar la experiencia de uso de las/os estudiantes en el laboratorio remoto de cinemática. Los resultados de este estudio permitirán proponer mejoras en el sistema y aportar una primera aproximación al impacto que estas herramientas pueden tener en la formación de los futuros profesionales de la ingeniería.*

## Abstract

The Faculty of Eng*ineering and Agricultural Sciences has a Remote Kinematics Laboratory, developed within the framework of the National Collaborative Network of Remote Access Laboratories (R-Lab Network), created in 2018 by the Federal Council of Deans of Engineering (CONFEDI). This laboratory is composed of a device that includes a cart sliding on a ramp, which allows for the study of physical phenomena associated with motion. By visualizing graphs and experimental data, students can articulate the theoretical concepts of kinematics with practical experimentation, using remote laboratory technologies. Access is provided through a web platform designed by the Faculty's Department of Information Technology Applications (DATI).During the current academic year, the remote laboratory will be used for the first time in the Physics I course for Engineering programs at the Faculty of Engineering and Agricultural. The objective of this work is to analyze the user experience of students in the remote kinematics laboratory and to complement this evaluation with an automatic analysis of the web platform. The results of this study will allow for proposing system improvements and providing a first approximation of the impact that these tools can have on the training of future engineering professionals.*

## Keywords

*Remote laboratory, usability, user experience, learning*

## Introducción

### Conceptualización de los Laboratorios Remotos

Un laboratorio remoto es un entorno que permite a los usuarios acceder a equipos físicos de forma remota a través

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de una interfaz de software. Estos laboratorios ejecutan experimentos con instrumentos reales en una ubicación física, pero el usuario los controla a distancia. El propósito es combinar la autonomía del aprendizaje virtual con la fidelidad de los entornos presenciales.

## Clasificación y Comparación de Laboratorios

Los entornos de laboratorio pueden clasificarse de forma sistemática según el tipo de acceso y la naturaleza de los recursos. La siguiente tabla resume esta clasificación:

**Tabla 1. Clasificación de los laboratorios**

| Dimensión | Tipo | |
|---|---|---|
| Acceso | Local | Remoto |
| Naturaleza de los recursos | Reales (Físicos) | Virtuales (Simulados) |

Esta clasificación da lugar a cuatro tipos de laboratorios:

Acceso local – Recursos reales: Es el laboratorio tradicional, donde los equipos físicos se encuentran en el lugar.

Acceso local – Recursos simulados: Son los laboratorios virtuales monousuarios, que consisten en simulaciones ejecutadas localmente.

Acceso remoto – Recursos reales: Este es el laboratorio remoto, donde se opera con equipos físicos a distancia.

Acceso remoto – Recursos simulados: Son los laboratorios virtuales multiusuario, simulaciones a las que se accede en línea por múltiples usuarios.

Comparando los laboratorios presenciales, virtuales y remotos, cada uno tiene sus propias características, ventajas y limitaciones:

Laboratorios Presenciales: Ofrecen una experiencia directa de alta fidelidad, pero requieren infraestructura, espacio y un costo de mantenimiento.

Laboratorios Virtuales: Son de bajo costo, flexibles y escalables, pero pueden carecer de realismo.

Laboratorios Remotos: Proporcionan accesibilidad geográfica y temporal las veinticuatro horas de los siete días de la semana y optimizan los recursos, aunque dependen de una conexión estable y pueden generar una sensación de aislamiento.

## La Red Argentina Colaborativa de Laboratorios de Acceso Remoto (R-Lab)

La Red R-Lab fue creada en 2018 por el Consejo Federal de Decanas y Decanos de Ingeniería (CONFEDI).[2] Su objetivo es promover la cooperación interinstitucional para implementar y compartir laboratorios remotos. La red busca democratizar el acceso a las prácticas de laboratorio, optimizar los recursos tecnológicos y crear un catálogo de pruebas de laboratorios experimentales accesibles a distancia. La Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias participa en esta iniciativa a través de su Laboratorio Remoto de Cinemática.[3]

## Conceptos Clave para la Evaluación de la Usabilidad

Para evaluar la experiencia de uso de una plataforma educativa digital, es crucial comprender la usabilidad, la accesibilidad y la satisfacción.

Usabilidad: Definida por la norma ISO/IEC 9241-11[4], se refiere al grado en que un producto puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos con efectividad, eficiencia y satisfacción. En educación, esto es esencial para fomentar la autonomía del estudiante.

Accesibilidad: Permite que personas con diferentes capacidades, recursos y contextos de conectividad puedan usar la plataforma en igualdad de condiciones. Esto se extiende más allá de la inclusión de personas con discapacidades para abarcar la diversidad de contextos de acceso al conocimiento.

Satisfacción: Mide el grado de aceptación, motivación y percepción positiva de los usuarios al interactuar con la plataforma. Este aspecto se vincula directamente con la calidad en uso (ISO/IEC 25022) y el valor educativo del recurso.

La norma ISO/IEC 25022 forma parte de la familia SQuaRE (Software product Quality Requirements and Evaluation)[5], que estandariza la medición de la calidad en uso desde la perspectiva del usuario final. Esta norma propone métricas asociadas a cinco características principales:

Efectividad: El grado en que los usuarios alcanzan sus objetivos con exactitud y completitud.

Eficiencia: La relación entre el nivel de efectividad alcanzado y los recursos utilizados, como el tiempo o el esfuerzo.

Satisfacción: La medida en que el producto cumple con las necesidades y expectativas del usuario.

Libertad de riesgo: La capacidad del sistema para no generar consecuencias adversas para el usuario o el entorno.

Cobertura del contexto: La capacidad del producto para ser usado en diferentes condiciones y perfiles de usuario.

## Rol de los Laboratorios Remotos en la Formación de Ingenieros

La transformación digital ha reconfigurado la educación superior, y los laboratorios remotos son una herramienta clave para complementar la teoría con experiencias prácticas. Al permitir a los estudiantes interactuar con equipos reales a través de interfaces digitales, democratizan el acceso a la experimentación y promueven la innovación educativa.

Estos laboratorios facilitan el aprendizaje constructivista y experiencial. A través de ellos, las/os estudiantes manipulan fenómenos físicos, formulan hipótesis, recogen datos y analizan resultados, lo que les ayuda a comprender en profundidad los conceptos teóricos y a desarrollar habilidades prácticas. [1]

Finalmente, los laboratorios remotos contribuyen al desarrollo de competencias técnicas y transversales. Desde una perspectiva técnica, las/os estudiantes adquieren habilidades en el manejo de datos y el análisis de sistemas físicos. Desde una perspectiva transversal, fomentan la autonomía, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo, habilidades esenciales para el mundo profesional.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Laboratorio Remoto de cinemática

El Laboratorio Remoto de Cinemática, constituye una propuesta innovadora orientada a fortalecer la enseñanza de la física en entornos virtuales y mixtos. Se trata de una plataforma accesible a través de internet que permite a as/los estudiantes interactuar con un experimento real a distancia, favoreciendo la integración de la teoría con la práctica. El sistema implementado consiste un módulo físico, compuesto por un riel con inclinación regulable y un móvil equipado con sensores que permiten registrar datos de movimiento; un componente de software, encargado del control de los dispositivos, la adquisición de datos y su procesamiento en tiempo real; y un entorno web interactivo, que funciona como interfaz entre el estudiante y el experimento, brindando acceso remoto, transmisión de video en vivo y la visualización de gráficas de posición, velocidad y aceleración. Esta integración tecnológica posibilita la realización de experiencias experimentales auténticas desde cualquier lugar con conexión a internet, favoreciendo la interacción, el aprendizaje activo y el desarrollo de competencias científicas y tecnológicas en modalidades presenciales, mixtas y a distancia.[5]

## Metodología:

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo y cualitativo, utilizando una encuesta anónima para recopilar datos sobre la experiencia de los usuarios con los laboratorios remotos. La encuesta fue distribuida a través de un formulario de Google, https://forms.gle/7aTHsQSHScFApsJC7, la misma estuvo compuesta por un total de 26 preguntas. Ocho de estas preguntas eran de formato abierto, diseñadas para explorar en profundidad aspectos cualitativos y obtener perspectivas detalladas sobre las experiencias pedagógicas y de usuario. Las 18 preguntas restantes eran cerradas y se utilizaron para recolectar datos cuantitativos, lo que permitió la determinación de métricas clave relacionadas con la usabilidad y la experiencia de usuario (UX).

## Desarrollo:

### Definición de métricas y desarrollo del instrumento de evaluación.

En una primera etapa del trabajo se establecieron métricas de evaluación que permitirían analizar la experiencia de uso del laboratorio remoto de cinemática. Estas métricas se definieron a partir de la literatura en usabilidad y experiencia de usuario, complementadas con indicadores propios del ámbito educativo. Inicialmente, se contemplaron cinco dimensiones: efectividad, eficiencia, satisfacción, libertad de riesgo y cobertura del contexto, cada una con sus correspondientes métricas operativas.

A partir del análisis del marco teórico y de la naturaleza del entorno de aprendizaje, se identificaron además dimensiones emergentes vinculadas a la experiencia de aprendizaje, tales como potencial de aprendizaje, motivación/engagement, fidelidad al entorno real y percepción de apoyo pedagógico. Estas dimensiones amplían el alcance de la evaluación, integrando aspectos pedagógicos con los de experiencia de usuario.

En una segunda etapa, las métricas definidas fueron puestas en práctica mediante la construcción de un cuestionario en Google Forms, diseñado específicamente para recoger información cuantitativa y cualitativa sobre cada dimensión. De este modo, el formulario constituye el instrumento de recolección de datos alineado con el marco de métricas previamente establecido, garantizando coherencia entre los objetivos de evaluación y las evidencias obtenidas.

### Métricas definidas

A continuación, se presentan algunas de las métricas definidas para evaluar la experiencia de usuario del laboratorio remoto de cinemática.

**1. Efectividad**

Definición: grado en que las/os estudiantes logran los objetivos de aprendizaje (ej. interpretar gráficas de movimiento, relacionar datos con conceptos teóricos).

%PC (Porcentaje de prácticas completas), porcentaje de estudiantes que completan la práctica alcanzando los objetivos de aprendizaje.

$$\%PC = \frac{PC}{TPR} x100$$

Donde:

$TPR$: *total de prácticas realizadas*

$PC$: *prácticas completas*

#Err: Número de errores conceptuales o técnicos cometidos durante la práctica (detectados en informes o cuestionarios).

**2. Eficiencia**

Definición: relación entre la efectividad lograda y los recursos invertidos (tiempo, esfuerzo cognitivo, número de intentos).

Tiempo promedio necesario para completar la práctica con éxito.

#IntRep: Número de intentos sobre repeticiones necesarios para realizar correctamente la experiencia.

$\#IntRep$: $\frac{Intentos}{Repeticiones}$

**3. Satisfacción**

Definición: grado en que la plataforma cumple con las expectativas y resulta agradable de usar.

Nivel de satisfacción general (escala Likert 1–5).

$\%ER = \frac{ER}{TE}$

$ER$: *Número de estudiantes que recomendaría el LR*
$TERP$: *Total de estudiantes que realizaron la práctica*

**4. Libertad de riesgo**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Definición: medida en que el uso del sistema no genera consecuencias negativas para el usuario (frustración, pérdida de tiempo, errores críticos).

%ERP: Porcentaje de estudiantes que reportan problemas técnicos que impidieron completar la práctica.

$$\%ERP = \frac{ERP}{TERP} x100$$

$ERP$: $Estudiantes\ que\ reportaron\ prácticas.$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

#IncidentesCríticos (caídas de sistema, pérdida de datos).

**5. Cobertura del contexto**

Definición: capacidad del LR de adaptarse a distintos dispositivos, entornos y perfiles de usuario.

%EEX: Porcentaje de estudiantes que pudieron acceder exitosamente desde distintos dispositivos (PC, notebook, celular).

$$\%EEX = \frac{EEX}{TERP} x100$$

$EEX$: $Estudiantes\ accedieron\ exitosamente$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

%ECP: porcentaje de estudiantes que completaron la práctica en distintos entornos (casa, facultad, conexión de distinta calidad).

$$\%ECP = \frac{ECP}{TERP} x100$$

$ECP$: $Est.completaron\ prácticas\ en\ \neq\ entornos$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

**6. Potencial de aprendizaje**

Definición: grado en que las/os estudiantes pueden comprender rápidamente cómo utilizar la plataforma y realizar la práctica sin necesidad de apoyo externo.

%EVI: porcentaje de estudiantes que indican que la interfaz y los controles fueron claros e intuitivos.

$$\%EVI = \frac{EVI}{TERP} x100$$

$EVI$: $Estudiantes\ que\ valoraron\ controles\ intuitivos.$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

%ECI: % de estudiantes que comprendieron las instrucciones sin dificultad.

$$\%ECI = \frac{ECI}{TERP} x100$$

$ECI$: $Estudiantes\ que\ comprendieron\ las\ instrucciones.$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

**7. Motivación / Engagement**

Definición: medida en que el uso del LR genera interés, entusiasmo y disposición para completar la práctica.

%EM: porcentaje de estudiantes que reportan sentirse motivados durante la experiencia.

$$\%EM = \frac{EMDE}{TERP} x100$$

$EMDE$: $Estudiantes\ motivados\ durante\ experimento.$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

Nivel promedio de motivación (escala Likert 1–5).

**8. Fidelidad al entorno real**

Definición: grado en que la experiencia remota es percibida como equivalente o comparable a la de un laboratorio presencial.

%EER: porcentaje de estudiantes que consideran que la experiencia remota se asemeja a la presencial.

$$\%EER = \frac{EER}{TERP} x100$$

$EER$: $Est.emparejan\ experiencia\ remota\ y\ presencial.$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

%VvsD: porcentaje de estudiantes que identifican ventajas/desventajas del LR respecto al presencial.

$$\%VvsD = \frac{Vent}{DesVent} x100$$

$Vent$: $Estudiantes\ que\ marcan\ ventajas\ de\ los\ LR.$
$DesVent$: $Estudiantes\ que\ marcan\ desventajas\ de\ los\ LR$

**9. Percepción de apoyo pedagógico**

Definición: valoración que hacen las/os estudiantes sobre la capacidad de la plataforma para facilitar su aprendizaje en la materia.

%CCC: % de estudiantes que perciben que el LR les ayudó a comprender mejor los conceptos de cinemática.

$$\%CCC = \frac{CCC}{TERP} x100$$

$CCC$: $Est.\ que\ consideran\ que\ comprendieron\ mejor\ los\ conceptos$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

%ESRE: porcentaje de estudiantes que consideran que serían útiles recursos adicionales (tutoriales, videos, guías).

$$\%ESRE = \frac{ESRE}{TERP} x100$$

$ESRE$: $Estudiantes\ que\ solicitan\ recursos\ adicionales.$
$TERP$: $Total\ de\ estudiantes\ que\ realizaron\ la\ práctica$

La tabla de trazabilidad (Tabla 2) constituye un recurso que permite vincular de manera sistemática las métricas previamente definidas con las preguntas incluidas en el cuestionario. Su propósito es asegurar la coherencia entre los objetivos de evaluación y los datos recolectados, mostrando explícitamente qué dimensión es abordada por cada ítem del instrumento y qué aspectos de la experiencia de usuario y del aprendizaje quedan cubiertos. De este modo, la tabla facilita tanto la validación del diseño del cuestionario como la posterior interpretación de los resultados.

**Tabla 2: Tabla de trazabilidad**

| Dimensión / Métrica | Pregunta(s) del formulario |
|---|---|
| Efectividad | P12. La plataforma me permitió cumplir con los objetivos de aprendizaje<br>P20–21. Comprensión y apoyo al aprendizaje |
| Eficiencia | P16. Tiempo en completar la práctica<br>P17. Número de intentos necesarios |
| Satisfacción | P13. Me sentí motivado/a<br>P14. Recomendaría la plataforma<br>P15. Estoy satisfecho/a con la experiencia |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | |
|---|---|
| Libertad de riesgo | P18. Problemas técnicos (Sí/No + detalle)<br>P25. Errores críticos (caídas, pérdida de datos) |
| Cobertura del contexto | P5. Dispositivo usado<br>P6. Entorno (casa/facultad/otro)<br>P7. Calidad de conexión (escala) |
| Usabilidad / Potencial de aprendizaje | P1. Fácil de acceder e ingresar<br>P2. Interfaz clara<br>P3. Encontré rápidamente cómo realizar el experimento<br>P8. Instrucciones fáciles de comprender<br>P9. Controles funcionaron correctamente<br>P10. Visualización clara |
| Fidelidad al entorno real | P11. Experiencia semejante al laboratorio presencial<br>P25. Ventajas frente al laboratorio presencial |
| Engagement / Motivación | P13. Me sentí motivado/a durante la experiencia |
| Percepción de mejora pedagógica | P24. Otros recursos adicionales (tutoriales, videos) |

## Desarrollo del trabajo práctico usando Laboratorio Remoto.

La materia Física I es una materia común de las carreras Ing. Química, Electrónica, Electromecánica, Mecatrónica, en Alimentos e Industrial. Actualmente, se encuentran cursando 157 estudiantes, para llevar a cabo la Clase práctica de cinemática, las/os estudiantes son separados en 5 grupos, cada uno con alrededor de 30 estudiantes, el Grupo 1 realiza la práctica presencial, el Grupo 2 realiza clase práctica de laboratorio con apoyo de software científico (PASCO y Capstone)[7], el Grupo 3 la realiza en el laboratorio con simulador web (Physlet)[8], el Grupo 4 utiliza un laboratorio con análisis y modelado de video (Tracker)[9] y el Grupo 5 realiza la clase práctica de laboratorio a distancia (Laboratorio Remoto). Estos últimos cuentan con un cronograma de uso del laboratorio, cada estudiante cuenta con 15 minutos y deben haberse registrado previamente.

### Procedimiento y fases del estudio usando Laboratorio Remoto

Fase preparatoria: Las/os estudiantes deben acceder al Laboratorio Remoto (https://labremotos.fica.unsl.edu.ar/) una hora antes de su turno asignado. El objetivo de esta fase es que los participantes se familiaricen con el entorno y revisen la "Guía de Estudio" para comprender el procedimiento experimental, dado que el tiempo de ejecución es limitado. En esta etapa, el acceso simultáneo de estudiantes es viable. Se requiere definir si el registro de usuarios se realiza de forma previa o en el momento del acceso.

Fase de experimentación y predicción: En su turno asignado, el estudiante accede directamente a la sección "Realiza el Experimento". En esta fase, el usuario visualiza el movimiento, realiza una predicción de las gráficas resultantes y las registra para su posterior análisis.

Fase de validación de resultados: posteriormente, el estudiante introduce un ángulo específico en el sistema para ejecutar el programa. El laboratorio remoto genera y muestra las gráficas correctas, que el estudiante debe comparar con sus predicciones iniciales.

Fase de análisis y reporte: Una vez concluida la sesión de 10 minutos en el laboratorio remoto, el estudiante debe descargar el informe para completar su análisis fuera de la plataforma. El informe debe incluir una comparación entre las gráficas predichas y las obtenidas experimentalmente.

Adicionalmente, durante la realización de los experimentos, las/os estudiantes contaban con un canal de comunicación por WhatsApp donde podían solicitar asistencia y reportar incidencias.

### Evaluación del rendimiento y la experiencia de usuario

Evaluación de conocimientos: Las/os estudiantes deberán responder un cuestionario cuyas preguntas se seleccionan aleatoriamente de un banco de preguntas sobre el tema objeto de estudio. El mismo se encuentra en línea y se accede a través de un enlace.

Evaluación de la experiencia de usuario: Adicionalmente, se aplicará el "Test de Evaluación de Experiencia de Usuario en la Plataforma de Laboratorio Remoto de Cinemática", diseñado para obtener los datos alineado con el marco de métricas previamente establecido en relación con la usabilidad y la percepción de la plataforma.

## Evaluación de resultados

Se detallan a continuación los resultados del análisis de las respuestas obtenidas y se correlacionan con las métricas establecidas.

### Análisis de la Usabilidad y Potencial de Aprendizaje

Los resultados del Gráfico 1 revelan una percepción mayormente positiva por parte de las/os estudiantes sobre la plataforma. Se detalla a continuación:

### Facilidad de Uso:

Acceso e ingreso: El 90% de las/os estudiantes encontró que el acceso a la plataforma fue fácil o muy fácil, lo que indica una alta accesibilidad.

Interfaz y navegación: La mayoría de las/os estudiantes (70%) calificó la interfaz como clara o muy clara e intuitiva. Un 30% restante mantuvo una postura neutral. De manera similar, un 75% encontró muy fácil la forma de realizar los experimentos, sugiriendo una navegación lógica y eficiente.

### Rendimiento y Comprensión:

Tiempo de respuesta: Las opiniones sobre el tiempo de respuesta están más divididas. La mitad de las/os estudiantes lo consideró bueno, mientras que un 15% lo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



calificó como muy adecuado. El 35% restante se distribuyó entre una opción neutra y una calificación menos positiva.

Instrucciones y resultados: En cuanto a la comprensión de las instrucciones, las respuestas se dividieron de forma equitativa entre las opciones neutro, bueno y muy bueno. Respecto a la visualización de los resultados, el 40% de las/os estudiantes la consideró muy buena y el 60% restante la evaluó como buena o neutra.

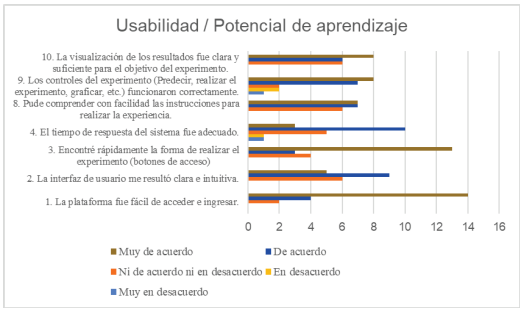
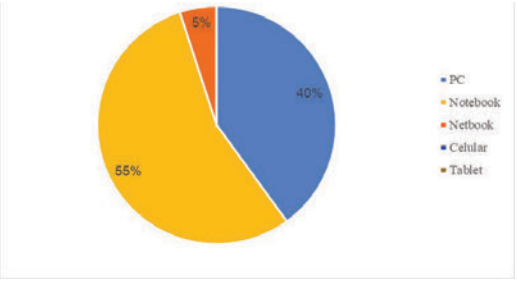



**Gráfico 1: Usabilidad / Potencial de aprendizaje**

El análisis de las respuestas relacionadas con la cobertura del contexto, en el Gráfico 2, puede observarse




que el 55% de las/os estudiantes realizaron el experimento en una Notebook, el 44% en una PC y el resto en una Netbook; el Gráfico 3, el 55% de las/os estudiantes realizó el experimento en su casa y el 40% en la facultad; el Gráfico 4, muestra que el 55% de las/os estudiantes considera que la conectividad en el momento del experimento era muy bueno y el 40% que era buena.

**Gráfico 2. Cobertura del contexto: ¿Desde qué dispositivo accediste? (PC, notebook, celular, tablet)**

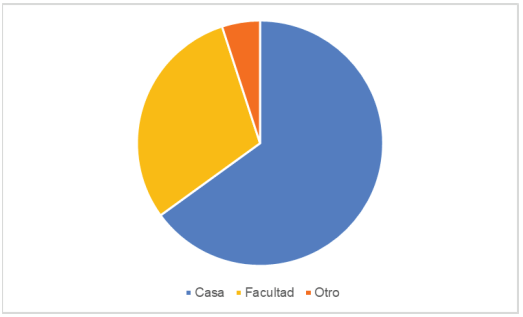



**Gráfico 3. Cobertura del contexto: ¿Desde dónde realizaste la práctica?**

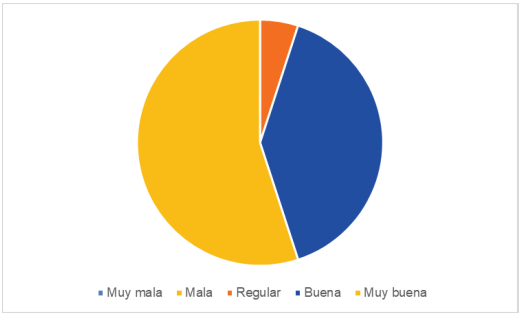



**Gráfico 4. Cobertura del contexto: ¿Cómo calificarías la calidad de tu conexión?**

Si analizamos las preguntas vinculadas a la efectividad, a la pregunta ¿Hubo algún momento en el que sentiste que la herramienta no apoyaba tu aprendizaje? ¿Por qué?, la respuesta del 95% de las/os estudiantes fue negativa, si analizamos las respuestas a la pregunta: La plataforma me permitió cumplir con los objetivos de aprendizaje en cinemática, el 80% de las/os estudiantes estuvo de acuerdo o muy de acuerdo.

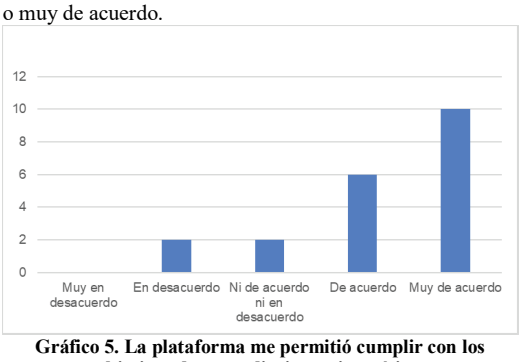



**Gráfico 5. La plataforma me permitió cumplir con los objetivos de aprendizaje en cinemática.**

Considerando las preguntas vinculadas a la eficiencia, en el Gráfico 6 podemos observar lo siguiente: Si analizamos las tendencias, se observa que la mayoría de los encuestados que tardaron más tiempo (entre 8 y 10 minutos) necesitaron más intentos (2 o 3 intentos); las/os estudiantes que tardaron menos de 5 minutos solo necesitaron 1 intento. Esto apoya la idea de que un tiempo de resolución más corto

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



se asocia a una mayor eficiencia. Por otro lado, quienes necesitaron "más de 4 intentos" se encuentran en el rango de tiempo más largo (entre 8 y 10 minutos), lo que refuerza la correlación; también hay un par de casos que se desvían de la tendencia, como el de una persona que tardó "entre 8 y 10 minutos" pero solo necesitó 1 intento y los casos de "Me faltó tiempo" se resuelven con 1 intento, lo que podría indicar que el límite de tiempo impuesto fue un factor determinante, independientemente de la habilidad del usuario.

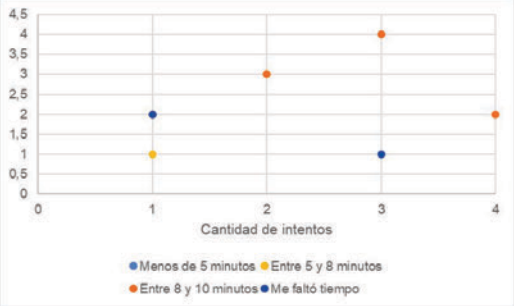



**Gráfico 6. Correlación entre intentos y tiempo del experimento**

Como se puede observar el Gráfico 7, en lo que respecta a la Motivación: La mayoría de los usuarios se sintieron motivados. El mayor número de respuestas se concentra en el nivel 3, lo que sugiere que hubo una motivación moderada en general. Hay una buena cantidad de respuestas en los niveles 4 y 5, indicando que una parte considerable de los usuarios se sintió bastante o muy motivada. Respecto a la recomendación: Los resultados para la recomendación de la plataforma son muy favorables. La mayoría de los encuestados puntuó con un 5, lo que significa que recomendarían la plataforma. El número de respuestas en los niveles 4 y 5 es notablemente alto, lo que demuestra un fuerte apoyo y satisfacción por parte de los usuarios. Si analizamos la satisfacción: La satisfacción general con la experiencia es extremadamente alta. Al igual que con la recomendación, la puntuación más alta, un 5, es la que más respuestas recibe. Esto sugiere que los usuarios están muy satisfechos con la plataforma.

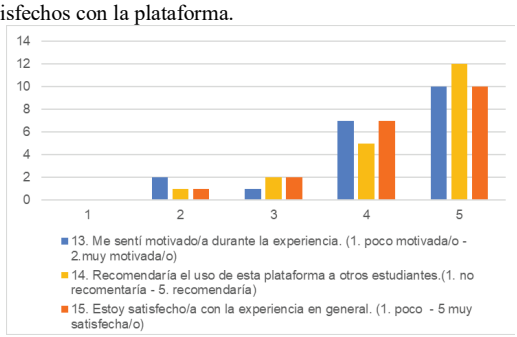



**Gráfico 7. Motivación**

Si analizamos la libertad de riesgo, el 40% de las/os estudiantes manifestó haber tenido dificultades, las mismas se centran en fallas técnicas y operativas. Esto incluye problemas con la visualización y funcionalidad de las herramientas (como el movimiento del carrito y la generación de gráficos), errores al guardar archivos y cargar la plataforma, y la incapacidad de realizar segundos intentos o borrar el progreso de usuarios anteriores.

En cuanto a la motivación durante el experimento, en el Gráfico 8 puede observarse que la mitad de las/os estudiantes se sintió muy motivada/o, a lo que se suma que otro 35% se sintió motivado, mientras 10% se sintió poco motivado y el 15% restante moderadamente motivado.




**Gráfico 8. Motivación durante el experimento**

En lo relacionado con la fidelidad al entorno real se cuenta con una pregunta cerrada que consulta si la experiencia es semejante al laboratorio presencial, Gráfico 9 y una pregunta abierta en la que se solicitaba que expresaran si las encontraban ventajas frente al laboratorio presencial. Puede observarse en el gráfico que el 30% de las/os estudiantes consideró no estar de acuerdo ni en desacuerdo, solo el 20% manifestó estar en desacuerdo, el resto de las/os estudiantes estuvieron de acuerdo o muy de acuerdo, si analizamos las respuestas a la pregunta abierta, los comentarios positivos giran en torno a la comodidad, la flexibilidad y el ahorro de tiempo. Los usuarios aprecian la posibilidad de hacer el laboratorio desde casa; por otro lado, entre quienes expresan dudas o consideran que hay desventaja, algunos usuarios prefieren el formato presencial o no tienen suficiente experiencia con la modalidad remota para dar una opinión completa.

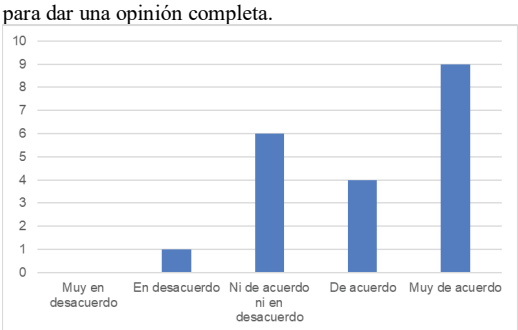



**Gráfico 9. Comparación Laboratorio Remoto Vs Presencial**

Si analizamos la percepción con relación a los recursos pedagógicos, las respuestas a la pregunta ¿Consideras que otros recursos adicionales (ejemplo: tutoriales, más videos, etc.) te hubieran ayudado? ¿Cuáles?, reflejan distintas opiniones sobre la necesidad de recursos adicionales. Una parte significativa de los usuarios 65% considera que hubiera sido útil contar con más apoyo, en particular videos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tutoriales que expliquen el uso de la plataforma o muestren el recorrido completo del laboratorio, o tutoriales. Por otro lado, un grupo considerable de encuestados indicó que los recursos existentes, como la guía de laboratorio, fueron suficientes y que no se requería material extra.

Al analizar las métricas de usabilidad propuestas, los resultados de la encuesta se trasladaron a valores cuantificables, lo cual nos permitió evaluar el rendimiento del sistema de manera objetiva.

**1. Efectividad**

Métrica: %PPC (Porcentaje de prácticas completas)

Resultado: El 80% de las/os estudiantes estuvo de acuerdo o muy de acuerdo en que la plataforma les permitió cumplir los objetivos de cinemática (Gráfico 5).

Métrica: #Err (número de errores conceptuales o técnicos detectados).

En las producciones escritas no se registraron errores conceptuales graves, lo que sugiere que la práctica fue efectiva en la consolidación de contenidos.

**2. Eficiencia**

Métrica: Tiempo promedio en completar la práctica y #IntRep (número de intentos/repeticiones).

Resultado: Las/os estudiantes que resolvieron en menos de 5 min necesitaron solo 1 intento, mientras que los que tardaron 8–10 min requirieron 2 o 3 intentos (Gráfico 6).

**3. Satisfacción**

Métrica: Nivel de satisfacción general y recomendación.

Resultado: La mayoría puntuó con 5 (máxima satisfacción) y recomendaría la plataforma (Gráfico 7).

**4. Libertad de riesgo**

Métrica: %ERP (porcentaje de estudiantes que reportan problemas técnicos) y #IncidentesCríticos.

Resultado: El 40% de las/os estudiantes manifestó dificultades (caídas, errores en visualización, problemas de guardado).

No se **registraron** incidentes críticos que impidieran de forma definitiva la finalización de la práctica.

**5. Cobertura del contexto**

Métrica: %EEX (porcentaje de acceso exitoso desde distintos dispositivos) y %ECP (porcentaje de finalización en distintos entornos).

Resultados: 55% accedió desde Notebook, 44% desde PC. La conectividad fue calificada como muy buena (55%) o buena (40%) (Gráficos 2–4).

**6. Potencial de aprendizaje**

Métrica: %EVI (claridad de la interfaz y controles) y %ECI (comprensión de las instrucciones).

Resultado: El 90% indicó que el acceso fue fácil o muy fácil; el 75% encontró muy sencilla la forma de realizar los experimentos; y el 60% evaluó como buena o muy buena la comprensión de las instrucciones. Esto refleja un alto potencial de aprendizaje, ya que la mayoría pudo usar el LR sin necesidad de apoyo adicional.

**7. Motivación / Engagement**

Métrica: %EM (porcentaje de estudiantes que reportan motivación) y nivel promedio de motivación (escala Likert 1–5).

Resultado: El 50% se sintió muy motivado, el 35% motivado y el resto moderadamente o poco motivado. El nivel promedio de motivación se ubicó entre 3 y 4, reflejando un compromiso positivo (Gráficos 7 y 8).

**8. Fidelidad al entorno real**

Métrica: %EER (percepción de semejanza con el laboratorio presencial).

Resultados: El 50% estuvo de acuerdo o muy de acuerdo en que la experiencia remota se asemeja a la presencial, un 30% se mantuvo neutral y un 20% en desacuerdo (Gráfico 9). Los comentarios positivos mencionan comodidad y flexibilidad; los negativos, la falta de contacto directo con el equipo.

**9. Percepción de apoyo pedagógico**

Métrica: %CCC (percepción de comprensión facilitada) y %ESRE (necesidad de recursos adicionales).

Resultado: El 65% de las/os estudiantes manifestó que hubiera sido útil contar con materiales complementarios (tutoriales, videos), mientras que el 35% consideró suficiente la guía de laboratorio.

La Tabla 3 presenta la relación directa entre las respuestas de los usuarios y las métricas de efectividad, eficiencia y satisfacción, demostrando el grado de usabilidad percibida en la plataforma, se procedió de la misma manera para obtener la libertad de riesgo, cobertura de contexto y motivación.

**Tabla 3. Síntesis de la evaluación de la experiencia del usuario y las métricas de calidad del software.**

| Dimensión / Métrica | Indicador | Resultado | Interpretación |
|---|---|---|---|
| Efectividad | % de estudiantes que cumplieron objetivos de aprendizaje; #Err | 80% cumplió los objetivos de aprendizaje; sin errores conceptuales graves | Alta efectividad |
| Eficiencia | Relación tiempo–intentos | < 5 min → 1 intento; 8–10 min → 2-3 intentos | Eficiencia media-alta (correlación positiva tiempo-intentos) |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | |
|---|---|---|---|
| Satisfacción | Nivel de satisfacción general y recomendación (Likert 1–5) | Mayoría calificó con 5 (máxima satisfacción y recomendación) | Muy alta satisfacción |
| Libertad de riesgo | %ERP (problemas técnicos reportados); #IncidentesCríticos | 40% reportó dificultades técnicas (caídas, errores, guardado); sin incidentes críticos graves | Moderada, requiere mejoras técnicas |
| Cobertura del contexto | %EEX (dispositivos); %ECP (entornos y conectividad) | 55% Notebook, 44% PC; 55% casa, 40% facultad; conexión buena/muy buena en 95% | Buena cobertura y adaptabilidad |
| Potencial de aprendizaje | %EVI (interfaz y controles claros); %ECI (comprensión) | 90% acceso fácil/muy fácil; 75% manejo intuitivo; 60% comprensión buena o muy buena | Alto potencial de aprendizaje, mínima necesidad de apoyo externo |
| Motivación / Engagement | %EM (motivación reportada); nivel motivación (Likert 1–5) | 50% muy motivados; 35% motivados; resto entre poco y moderado | Alta motivación y compromiso |
| Fidelidad al entorno real | %EER (semejanza con presencial); %VvsD (ventajas/desventajas) | 50% acuerdo/muy de acuerdo; 30% neutro; 20% en desacuerdo. Comentarios: comodidad vs. contacto real | Percepción mixta, requiere refuerzo de realismo |
| Apoyo pedagógico percibido | %CCC (comprensión facilitada); %ESRE (recursos adicionales) | 65% demandó tutoriales/videos adicionales; 35% indicó guía suficiente | Valorado como útil, pero con necesidad de materiales complementarios |

## Conclusiones

El análisis realizado permite afirmar que el Laboratorio Remoto de Cinemática constituye una herramienta eficaz y valorada positivamente por las/os estudiantes en su proceso de aprendizaje. La mayoría de los participantes consideró que la plataforma les permitió cumplir con los objetivos propuestos en la práctica de cinemática, lo que se traduce en una alta efectividad (80%). Asimismo, los resultados reflejan un nivel de satisfacción muy elevado, acompañado de una disposición mayoritaria a recomendar la experiencia a otros compañeros.

En relación con la eficiencia, se observó una correlación positiva entre el tiempo de resolución y la cantidad de intentos, lo que indica un desempeño medio-alto, aunque condicionado por el límite temporal de la sesión. Este hallazgo sugiere que una extensión del tiempo disponible por usuario, o la posibilidad de realizar intentos adicionales, podría optimizar aún más los niveles de eficiencia.

Un aspecto crítico identificado es la libertad de riesgo: el 40% de las/os estudiantes reportó dificultades técnicas vinculadas a la visualización, la generación de gráficos o la gestión de los intentos. Aunque en la mayoría de los casos no impidieron la finalización de la práctica, estos problemas representan una barrera que debe ser atendida para garantizar una experiencia fluida y confiable. Cabe destacar que el laboratorio no fue sometido a un proceso de estrés previo con usuarios antes de su implementación, lo que probablemente explica la mayoría de los inconvenientes observados tanto a nivel de hardware como de software.

La cobertura del contexto se muestra satisfactoria: la plataforma fue utilizada con éxito desde diferentes dispositivos y entornos, lo que refleja adaptabilidad y robustez frente a condiciones variadas de conectividad. En paralelo, los resultados evidencian un alto nivel de motivación y compromiso, con la mayoría de las/os estudiantes reportando interés y entusiasmo durante la práctica.

En cuanto a la fidelidad al entorno real, si bien una proporción importante de estudiantes percibió la experiencia como semejante a la presencial, otros señalaron limitaciones respecto al contacto directo con el equipamiento. Esto indica la necesidad de fortalecer la percepción de realismo mediante recursos audiovisuales complementarios o guías interactivas que refuercen la conexión entre la práctica remota y la presencial.

Finalmente, un 65% de los participantes manifestó interés en contar con recursos pedagógicos adicionales, tales como tutoriales o videos explicativos. Este hallazgo subraya la importancia de integrar materiales de apoyo que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



acompañen la práctica y potencien el aprendizaje autónomo.

Sumarizando, el estudio confirma el alto potencial pedagógico de los laboratorios remotos como estrategia innovadora en la formación de ingenieros, especialmente en contextos mixtos y a distancia. No obstante, la mejora de la estabilidad técnica y la incorporación de recursos didácticos complementarios surgen como prioridades para consolidar su valor educativo. Además, el presente estudio constituye un insumo valioso para orientar mejoras futuras en el laboratorio remoto, tanto en su infraestructura técnica como en sus estrategias pedagógicas. Futuras investigaciones deberían comparar sistemáticamente el desempeño de las/os estudiantes en modalidades presencial, virtual y remota, a fin de profundizar en el análisis del impacto formativo de estas tecnologías.

## Referencias

[1] Johnson, A. B. (2019). The impact of digital tools on student learning outcomes in higher education. Educational Technology Research and Development, 12(3), 75-89.

[2] Consejo Federal de Decanos y Decanas de Ingeniería de la República Argentina (CONFEDI). (2025, 16 de julio). Red Argentina Colaborativa de Laboratorios de Acceso Remoto. CONFEDI R-Lab. Recuperado de https://confedi.org.ar/red-argentina-colaborativa-de-laboratorios-de-acceso-remoto-confedi-r-lab/

[3] Gelatti, L., Esteban, F., Rosales, F., & Ribotta, S. (2024). Laboratorio remoto en cinemática: Una alternativa para la enseñanza de competencias científicas en la era digital. Revista Científica, (2), 5–15.

[4] International Organization for Standardization. (2018). ISO 9241-11:2018 Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts. ISO. https://www.iso.org/standard/63500.html

[5] International Organization for Standardization. (2016). ISO/IEC 25022:2016 Systems and software engineering—Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE)—Measurement of quality in use (ISO Standard No. 25022:2016). https://www.iso.org/standard/35746.html

[6] Marcus, A. and Maletic, J. I., "Recovering Documentation-to-Source-Code Traceability Links using Latent Semantic Indexing", in Proceedings 25th IEEE/ACM International Conference on Software Engineering (ICSE'03), Portland, OR, May 3-10 2003, pp. 125-137.

[7] Pasco. "Dynamic Kart & Track System". https://www.pasco.com/products/guides/dynamics-systemconfiguration

[8] Physlets: Physics Applets. (s. f.). Overview Summary [Documentación]. Recuperado de https://fem.um.es/Fislets/CD/applets/javadoc/overview-summary.html

[9] Open Source Physics. (2025). Tracker [Software de análisis de vídeo]. Recuperado de https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Lo que aprendimos del estudiantado: Una lectura pedagógica del TPI en Ingeniería en Sistemas de Información

*Mercedes Soria[1]; Laura Tosselli[1];Valeria Ortiz Quiroz[2]; Sonia Oddino[1]*
*[1]UTN Facultad Regional Villa María*
*[2]UTN Facultad Regional Córdoba*
msoria@frvm.utn.edu.ar; laura.tosselli@gmail.com

## Resumen

*Este artículo presenta los resultados de una indagación sobre la percepción estudiantil respecto a una propuesta de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) implementada en la asignatura Investigación Operativa de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. La experiencia, desarrollada en el marco de un Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID), propuso como desafío el diseño de un sistema de transporte colaborativo para la comunidad universitaria, integrando competencias técnicas y transversales. A través de una encuesta autoadministrada, se recolectaron valoraciones, comentarios y sugerencias por parte del estudiantado, que permiten analizar tanto la apropiación de la propuesta como sus tensiones pedagógicas. Los resultados muestran una alta valoración del trabajo por proyectos, especialmente en términos de aplicabilidad, propósito del aprendizaje y desarrollo de habilidades profesionales. Al mismo tiempo, se identificaron dificultades vinculadas con la gestión del tiempo, la articulación intermateria y la dependencia de recursos extra-institucionales como IA y plataformas digitales. El presente estudio concluye con proyecciones para futuras implementaciones, incluyendo la posibilidad de evaluación conjunta entre cátedras y el acompañamiento de proyectos que deseen avanzar hacia una implementación real y factible.*

**Palabras clave**: Aprendizaje Basado en Proyectos, Percepción estudiantil. Ingeniería en Sistemas, Evaluación por competencias.

## Introducción

La implementación de propuestas pedagógicas centradas en la resolución de problemas reales, como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), ha cobrado creciente protagonismo en las carreras de Ingeniería, especialmente en el marco de planes de estudio orientados por competencias. Estas metodologías buscan no solo favorecer la adquisición de conocimientos técnico-disciplinares, sino también desarrollar competencias transversales como el trabajo colaborativo, la gestión de proyectos y la toma de decisiones informadas.

Durante el primer cuatrimestre de 2025, se implementó un Trabajo Práctico Integrador (TPI) en la asignatura Investigación Operativa de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información (ISI), que propuso como desafío el diseño y prototipado de un sistema de transporte colaborativo para estudiantes. Esta experiencia, ya analizada desde la perspectiva docente en un trabajo previo [1], se inscribe en el marco de un Proyecto de Investigación y Desarrollo orientado a explorar estrategias pedagógicas integradoras, situadas y con perspectiva de género.

El presente trabajo tiene como propósito recuperar y analizar la apreciación del estudiantado sobre esta propuesta de ABP, con el objetivo de aportar una mirada complementaria a la planificación e implementación del TPI. A través del análisis de una encuesta aplicada al finalizar el cuatrimestre y la experiencia, se busca comprender cómo vivieron los y las estudiantes el proceso de trabajo, qué aprendizajes identifican como significativos, qué recursos utilizaron para resolver los desafíos propuestos y qué sugerencias emergen para futuras implementaciones. Esta perspectiva reconoce el valor pedagógico de la retroalimentación estudiantil como insumo clave para el diseño de propuestas más inclusivas, pertinentes y efectivas.

En este marco se inscribe el Proyecto de Investigación TEECVM0010030, “Integración de Competencias Genéricas y Específicas a través de Estrategias Interdisciplinarias de Enseñanza con Perspectivas de Género”. Entre las estrategias seleccionadas, el ABP ocupa un lugar central, al situar a los estudiantes frente a problemas auténticos que demandan la aplicación de conocimientos, habilidades y actitudes propias del ejercicio profesional.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Marco teórico

La consideración de la perspectiva estudiantil en experiencias de enseñanza centradas en problemas reales demanda una revisión crítica de las orientaciones pedagógicas que configuran la formación en ingeniería, particularmente cuando esta se propone desde un paradigma de integración de competencias.

En las últimas décadas, las propuestas basadas en la resolución de problemas —como el ABP— han adquirido un lugar estratégico en la reconfiguración del vínculo entre saber académico y práctica profesional. Lejos de concebirse como una técnica instrumental, el ABP se sitúa dentro de una corriente pedagógica que valora el conocimiento como construcción situada, colectiva y significativa [2-3]. Esta orientación transforma las relaciones tradicionales entre docentes, contenidos y estudiantes, al desplazar el foco desde la exposición hacia la participación activa, la toma de decisiones y la elaboración de soluciones contextualizadas.

Desde esta perspectiva, el trabajo por proyectos permite tensionar la fragmentación disciplinar, al propiciar la articulación de saberes diversos en torno a problemas complejos, y al mismo tiempo, favorece la emergencia de competencias que exceden lo técnico-disciplinar: pensamiento crítico, comunicación, responsabilidad colectiva. En este sentido, su potencia formativa radica no solo en el qué se aprende, sino en el cómo y el para qué, dimensiones muchas veces invisibilizadas en formatos tradicionales.

Asimismo, la formación por competencias promueve la articulación y transferencia de saberes entre asignaturas, niveles y experiencias formativas [4]. Esta capacidad de recontextualizar conocimientos previos —aprendidos en materias anteriores o en otros entornos— permite al estudiantado abordar problemas complejos desde una mirada integradora. Así, el trabajo por proyectos no solo favorece la consolidación de contenidos, sino que amplifica su sentido y utilidad al ubicarlos en nuevas situaciones de aplicación. En lugar de una reusabilidad instrumental, se trata de una movilización crítica del saber, capaz de interpelar al estudiante y vincular el aprendizaje con su entorno profesional, institucional y social.

Por su parte, la formación por competencias —tal como ha sido incorporada en los planes de estudio de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional— propone una reorganización curricular basada en resultados de aprendizaje observables, que integran conocimientos, habilidades y actitudes propias del campo profesional. No obstante, su efectividad depende en gran medida de las mediaciones pedagógicas que posibiliten dicha integración. En este punto, propuestas como el TPI permiten materializar la articulación entre saberes disciplinares y competencias transversales, siempre que se sostengan en criterios de evaluación claros, orientación docente y un diseño instruccional que habilite la toma de decisiones significativa por parte del estudiantado.

Finalmente, el reconocimiento de las voces estudiantiles como insumo pedagógico no responde a una lógica consultiva, sino a una concepción crítica del aprendizaje como experiencia situada. Escuchar qué valoran, qué interpretan como aprendizaje, qué recursos movilizan y qué tensiones experimentan quienes participan en estas propuestas, permite no solo ajustar decisiones didácticas, sino también construir una mirada más integral de los procesos formativos [5-6]. En un escenario en el que los modos de aprender se diversifican —entre entornos institucionales y redes informales, entre mediaciones docentes e inteligencia artificial—, comprender cómo se posicionan los y las estudiantes frente a estas experiencias se vuelve imprescindible para pensar una formación situada, reflexiva y socialmente relevante.

## Metodología

La metodología adoptada en el trabajo consiste en un diseño mixto, de carácter cualitativo-cuantitativo. Si bien el propósito central fue recuperar las experiencias y valoraciones del estudiantado sobre el Trabajo Práctico Integrador (TPI) implementado en la asignatura Investigación Operativa durante el primer cuatrimestre del año 2025 (orientación cualitativa exploratoria), también se incorporaron componentes cuantitativos mediante el uso de preguntas cerradas en la encuesta, cuyos resultados se sistematizaron a partir de frecuencias y porcentajes. El análisis parte del supuesto pedagógico de que los sentidos construidos por los y las estudiantes sobre sus trayectorias formativas constituyen una fuente legítima para repensar los dispositivos didácticos y sus condiciones de posibilidad.

El corpus empírico se compone de las respuestas a una encuesta implementada al finalizar el TPI. El instrumento fue auto-administrado de forma virtual mediante un formulario de Google, y respondido de manera anónima por estudiantes que participaron de la actividad. La decisión de emplear un instrumento mixto —con preguntas cerradas y abiertas— respondió a la intención de relevar tanto tendencias generales como voces singulares que permitieran captar matices, tensiones y significados emergentes.

En total, respondieron 61 estudiantes, lo que representa aproximadamente el 86% del total de cursantes que entregaron el TPI (71 estudiantes).

Las preguntas abordaron múltiples dimensiones de la experiencia estudiantil, entre ellas:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



1. el atractivo del problema planteado y la claridad de la consigna
2. la adecuación de la actividad al nivel de cursado;
3. los conocimientos previos y asignaturas que aportaron al desarrollo del trabajo;
4. el uso de recursos (docentes, inteligencia artificial, sitios web);
5. las contribuciones percibidas en relación con su formación profesional y el tiempo asignado para la actividad;
6. Continuidad

Para el tratamiento de las preguntas cerradas se aplicó una sistematización básica de frecuencias y porcentajes, con el fin de identificar patrones en las respuestas. Las preguntas abiertas fueron analizadas mediante una codificación categorial emergente, lo que permitió reconocer regularidades, tensiones y posicionamientos diversos. El análisis se organizó en torno a cuatro ejes interpretativos: comprensión y adecuación de la consigna; modos de resolución y recursos utilizados; percepción del aprendizaje logrado; y propuestas de mejora o continuidad.

Esta estrategia metodológica busca no solo describir la experiencia desde el punto de vista del estudiantado, sino también comprender cómo se resignifican las prácticas pedagógicas en función de los modos actuales de aprender, de las trayectorias previas y de los recursos que circulan dentro y fuera del aula.

## Resultados

Las respuestas recogidas en la encuesta revelan una valoración predominantemente positiva del Trabajo Práctico Integrador (TPI), aunque también se identifican tensiones significativas, dificultades perceptibles y formas diversas de apropiación. A continuación, se presentan los hallazgos organizados según las preguntas cerradas principales y los ejes analíticos definidos.

Las respuestas recogidas en la encuesta revelan una valoración predominantemente positiva del Trabajo Práctico Integrador (TPI), lo que da cuenta del reconocimiento por parte del estudiantado de la pertinencia de la propuesta y de su contribución formativa. No obstante, también se identificaron tensiones significativas, dificultades perceptibles y distintas formas de apropiación. A continuación, se presentan los hallazgos organizados en función de las principales preguntas cerradas de la encuesta y de los ejes analíticos definidos para el tratamiento de las respuestas abiertas.

**1. Atractivo del proyecto y claridad de la consigna**

El 92% indicó que el proyecto resultó atractivo, destacando su conexión con una necesidad concreta y su aplicabilidad práctica:

*"Me pareció interesante que estuviéramos trabajando en algo real, que podría llegar a implementarse."*

*"Fue un proyecto desafiante y útil, porque combinaba teoría con algo aplicable."*

En cuanto a la comprensión, el 80% consideró que la consigna fue clara y el 74% la percibió adecuada a sus conocimientos (Figura 1). No obstante, algunas respuestas advierten una estructura algo cerrada:

*"La consigna estaba bien explicada, pero sentí que ya venía con una solución implícita."*

*"Hubiera estado bueno poder elegir cómo resolverlo, o plantear alternativas más libres."*




**Figura 1.** Resultados de la pregunta "*¿La consigna fue de fácil comprensión?*"

**2. Adecuación al nivel de cursado**

Casi el 90 % consideraron el proyecto adecuado para su nivel, entendiendo que éste les permitía aplicar competencias adquiridas.

*"Estamos en condición de encarar un proyecto así."*

También se valoró su potencial como práctica preparatoria para instancias finales como el Proyecto Final de Carrera.

*"Cada equipo pudo decidir hasta qué nivel implementar."*

***Tensiones identificadas:***

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Críticas a la pertinencia disciplinar en el marco de Investigación Operativa:

*"No me pareció adecuado que fuera obligatorio en esta cátedra."*

También se cuestionó que la carga temporal del proyecto pudiera ser desbalanceada en función de otras entregas y obligaciones académicas.

**3. Conocimientos previos: asignaturas del nivel actual y de años anteriores**

Se reconocen como relevantes los aportes de materias como Investigación Operativa, Diseño de Software y Arquitectura, pero también se identificaron vacíos (Figura 2):

*"Me ayudó mucho haber visto estructuras de datos, aunque tuve que repasar bastante."*

*"No recordaba lo suficiente de Matemática Discreta, así que busqué por mi cuenta."*

Estos comentarios permiten visibilizar la diversidad de trayectorias y la desigual preparación técnica entre los grupos.




**Figura 2.** Resultados de la pregunta "*¿Los conocimientos y competencias desarrolladas previamente durante el cursado de la carrera, le sirvieron para resolver la situación planteada?*"

***Suficiencia de conocimientos previos***

La última pregunta de la encuesta invitaba al estudiantado a indicar qué otros conocimientos habrían requerido en caso de que los adquiridos durante la carrera no resultaran suficientes para resolver la actividad propuesta (Tabla 1). A pesar de la relevancia de esta consigna, un análisis preliminar muestra que la mitad de las respuestas (31 de 61) se limitaron a signos como ".", "-", "NA" o expresiones mínimas ("a", ".."), lo cual puede interpretarse como una ausencia efectiva de respuesta. Esta omisión resulta significativa: podría deberse a múltiples factores, como la percepción de que no era necesario responder si no se identificaban vacíos; el agotamiento hacia el final del formulario; o incluso la dificultad de explicitar lo que no se sabe.

**Tabla 1 .** Tipos de conocimientos mencionados como necesarios o validados (N=30)

| Categoría temática | Frecuencia | Cita representativa |
|---|---|---|
| Conocimientos suficientes (respuesta positiva) | 18 | *"Fueron suficientes." / "Solo tuve que repasar algunos conceptos."* |
| Refuerzo de conocimientos previos | 4 | *"Tuve que volver a ver temas que ya había cursado."* |
| Desarrollo mobile / frontend / UX | 3 | *"Conocimientos en desarrollo de aplicaciones mobile."* |
| Planificación y estimación | 2 | *"Planificación y estimación para la entrega 1 y diseño de experiencia de usuario."* |
| Herramientas profesionales (Docker, etc.) | 1 | *"Sería importante incorporar herramientas del trabajo real como Docker, Kubernetes."* |
| Realización de diagramas y documentación | 1 | *"Hubiese necesitado reforzar conceptos prácticos, realización de diagramas."* |
| Diseño visual / usabilidad | 1 | *"Sería bueno agregar algo de prototipos más real."* |

Este panorama mixto —entre la validación de lo aprendido y la identificación de saberes aún necesarios— refleja no solo las fortalezas del recorrido curricular, sino también sus zonas de tensión. La alta frecuencia de respuestas escuetas o vacías (casi el 50%) puede interpretarse en parte como una validación implícita del diseño pedagógico, pero también podría estar vinculada a la diversidad de trayectorias estudiantiles: las materias ya cursadas, las experiencias laborales, las prácticas de aprendizaje autónomo o incluso el rol asumido dentro del equipo de trabajo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En este sentido, las respuestas no pueden leerse de forma aislada, sino como expresiones de recorridos formativos heterogéneos. Esto resalta la necesidad de sostener propuestas pedagógicas que no solo articulen contenidos, sino que también reconozcan e integren la diversidad de saberes previos, intereses y formas de participación del estudiantado.

**4. Recursos y estrategias de resolución**

Al indagar sobre a quién o qué recurrieron para resolver el trabajo, las respuestas mostraron una preferencia marcada por recursos digitales:

*"Usé mucho inteligencia artificial y videos, más que consultar con docentes."*

*"Lo resolvimos entre nosotros, buscando ejemplos en foros y tutoriales."*

Las menciones a consultas a docentes de otras materias fueron mínimas, lo que abre interrogantes sobre el lugar real de la articulación curricular más allá del discurso formal (Figura 3).

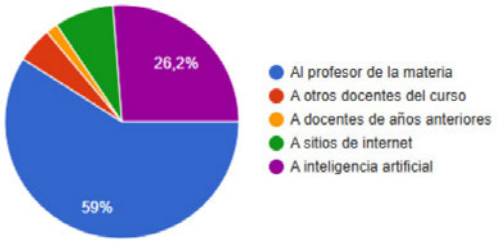



**Figura 3.** Resultados de la pregunta "*¿A quién/es consultó para realizar el trabajo solicitado?*"

**5. Contribución a la formación profesional y los tiempos**

El 86% afirmó que el TPI amplió tanto sus conocimientos teóricos como sus habilidades prácticas. La experiencia fue vivida como un acercamiento a una práctica profesional real, en la que no solo se pusieron en juego saberes técnicos específicos, sino también competencias transversales como la gestión del tiempo, el trabajo en equipo y la resolución de problemas. En este sentido, el TPI fue percibido como un espacio de integración entre lo aprendido en la carrera y las exigencias que se proyectan en el ámbito laboral e institucional. Algunas de las citas obtenidas de las encuestas en relación a este aspecto, se detallan a continuación:

*"Aprendí cómo trabajar en equipo con distintos roles, y cómo planificar una entrega real."*

*"Sentí que por primera vez todo lo que aprendimos se aplicaba a algo concreto."*

Si bien la actividad se consideró adecuada, surgieron pedidos por un mayor margen temporal:

*"Hubiese necesitado una semana más para validar mejor el prototipo."*

*"Fue justo en tiempo, pero estresante. El proyecto merecía más espacio."*

**6. Continuidad**

Casi el 57% manifestó interés en avanzar en la implementación además de mostrar interés en repetir experiencias similares en otras asignaturas (Figura 4). Las sugerencias se centraron en tiempos, apoyos y apertura de la consigna:

*"Estaría bueno hacerlo también en materias como Base de Datos o Seguridad."*

*"Que haya más flexibilidad en cómo resolver el problema. Más libertad técnica."*

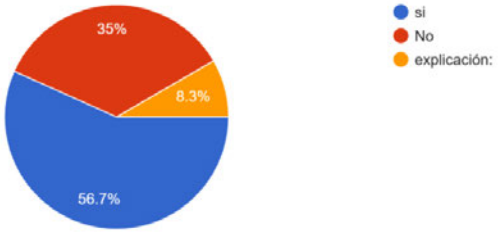



**Figura 4.** Resultados de la pregunta sobre avanzar en la implementación

Un aspecto que atraviesa de manera transversal la experiencia, aunque no haya sido el foco central de este estudio, es la dimensión técnica propia de la formación en ingeniería. El TPI implicó el uso de lenguajes de programación, herramientas de diseño de sistemas y entornos de prototipado que demandaron la aplicación de saberes específicos vinculados al desarrollo de software, la arquitectura de datos y la validación de algoritmos. Desde la mirada

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



pedagógica, estos elementos no se reducen a la ejecución instrumental, sino que constituyen escenarios privilegiados para observar cómo el estudiantado articula conocimientos técnicos con competencias transversales, tales como la planificación, la comunicación y la toma de decisiones en contextos de incertidumbre.

## Análisis y Discusión

Los resultados de la encuesta revelan una buena valoración de la experiencia del TPI por parte del estudiantado, tanto en términos de aprendizaje como de pertinencia del desafío planteado. Sin embargo, al observar las respuestas en profundidad, emergen matices que invitan a repensar no solo el dispositivo didáctico, sino también las formas contemporáneas de aprender en contextos ingenieriles.

Uno de los aspectos más destacados fue el carácter contextualizado del proyecto. La posibilidad de desarrollar una solución para una necesidad concreta —la organización del transporte estudiantil dentro de la comunidad universitaria— permitió dotar de sentido práctico a contenidos teóricos, al tiempo que favoreció el desarrollo de competencias vinculadas a la planificación, el diseño y la documentación de sistemas. Esta articulación fue vivida como significativa: no tanto por "usar lo aprendido", sino por experimentar cómo distintos saberes pueden dialogar para resolver un problema auténtico.

Ahora bien, esta misma percepción de "proyecto real" tensionó la planificación docente en varios puntos. Por un lado, el tiempo asignado fue percibido como insuficiente por una parte del estudiantado, que demandó mayor dedicación para realizar pruebas, validar resultados o diseñar alternativas. Por otro lado, la formulación del problema fue interpretada por algunos como relativamente cerrada, lo que restringió los márgenes de creatividad y de exploración técnica.

En particular, algunos estudiantes señalaron que el uso de herramientas como geolocalización, o la necesidad de implementar algoritmos para cálculo de distancias y optimización de rutas —funcionalidades frecuentes en sistemas similares a Uber— abría el camino a la utilización de técnicas que no se desarrollan formalmente en IO, como la programación dinámica. Esta tensión señala un punto crítico en las propuestas de ABP: el equilibrio entre una estructura didáctica orientadora —que delimita objetivos, entregas y criterios— y el margen de decisión técnica y organizativa que se deja a los equipos, donde se activa la gestión del estudiantado y se ejercita su autonomía en contextos de resolución compleja.

Otro hallazgo relevante se vincula con los modos actuales de resolver problemas. Las respuestas muestran un desplazamiento desde las fuentes institucionales (consultas a docentes, vínculos entre asignaturas) hacia recursos digitales, inteligencia artificial y comunidades en línea. Esta práctica no es sólo instrumental, sino que configura una forma de aprender situada en entornos distribuidos, donde la respuesta no está necesariamente en el aula ni en la figura docente. Lejos de suponer un déficit, esta estrategia refleja una redefinición del aprendizaje como actividad autónoma, no-lineal y transmedia. Sin embargo, plantea desafíos para el trabajo interdisciplinario real entre cátedras, que en esta experiencia fue más una intención del diseño que una práctica efectiva.

Por último, el análisis presentado muestra que el estudiantado es capaz de reconocer con precisión qué aportes les resultaron valiosos, qué conocimientos les faltaron y qué condiciones mejorarían la experiencia. En lugar de limitarse a validar o criticar, sus respuestas muestran capacidad metacognitiva para reflexionar sobre sus trayectorias, tomar distancia de lo vivido y proponer mejoras. En este sentido, la encuesta no solo funcionó como instrumento de evaluación, sino como una práctica formativa que devolvió a los y las estudiantes un lugar activo en la construcción del conocimiento pedagógico.

Aunque este trabajo no tuvo como eje central el análisis de la perspectiva de género, el problema abordado —la organización de un sistema de transporte colaborativo para la comunidad universitaria— presenta claras implicancias en esta dimensión. La inseguridad en los trayectos cotidianos afecta de manera diferencial a mujeres y diversidades, lo que subraya la necesidad de considerar sus experiencias al momento de diseñar soluciones tecnológicas. Si bien el TPI fue concebido en el marco de un proyecto con enfoque de género, este aspecto no se explicitó como criterio de análisis durante la implementación. No obstante, la lectura de las respuestas estudiantiles evidencia que, al promover la colaboración y el trabajo en equipo, se generaron espacios más horizontales y con distribución equitativa de roles, favoreciendo la participación activa de todos los perfiles. De cara a futuras ediciones, se propone incorporar de manera más deliberada esta dimensión, incluyendo instancias de reflexión sobre cómo la tecnología puede contribuir a la equidad y la inclusión, especialmente en problemas donde las desigualdades sociales atraviesan las decisiones de diseño.

## Conclusiones

La recuperación de la perspectiva estudiantil permitió ampliar y complejizar el análisis del TPI desarrollado en la asignatura Investigación Operativa. Lejos de constituir una mera validación de la propuesta docente, las respuestas recabadas invitan a repensar cómo se construye la experiencia de aprendizaje en contextos mediados por problemas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



reales, en entornos colaborativos y con márgenes de autonomía relativa.

Entre los principales hallazgos, se destaca el alto nivel de apropiación de la propuesta por parte del estudiantado, que valoró especialmente el carácter contextualizado del problema, la posibilidad de integrar saberes técnicos adquiridos en diversas asignaturas y la cercanía con prácticas propias del ejercicio profesional. El armado libre de los equipos, la distribución de roles y la gestión del trabajo en fases fueron elementos que fortalecieron esa percepción. Asimismo, se reconoció el desarrollo de competencias transversales como la planificación, la documentación y la comunicación efectiva, todas dimensiones centrales del perfil de egreso de la carrera.

Al mismo tiempo, emergen tensiones que permiten afinar el diseño de futuras implementaciones. La percepción de tiempos ajustados, el deseo de mayor apertura en la consigna y la baja articulación efectiva con otras asignaturas, a pesar de estar prevista en el diseño, fueron aspectos señalados como obstáculos. Además, la preferencia por fuentes de consulta externas - como inteligencia artificial, foros o tutoriales- por sobre los recursos institucionales plantea interrogantes relevantes sobre los modos actuales de construir conocimiento técnico, así como sobre el lugar que ocupa el acompañamiento docente en estos procesos.

Como líneas de proyección para el fortalecimiento del proceso formativo, se plantea la necesidad de:

- ➔ Reforzar los espacios de diseño colaborativo y de toma de decisiones por parte del estudiantado, especialmente durante las etapas iniciales del proyecto.
- ➔ Favorecer la articulación efectiva entre asignaturas, no sólo como un enunciado en el diseño curricular, sino como una práctica integrada en el desarrollo del trabajo académico.
- ➔ Revisar la temporalidad de las entregas y ajustar los plazos en función de la complejidad real de las soluciones que se espera alcanzar.

De forma particular, se propone como línea a desarrollar en próximas ediciones la implementación de dispositivos de evaluación conjunta entre cátedras, a fin de explorar si dicha estrategia puede favorecer una integración curricular más efectiva y sostenida. Esta acción no solo reforzaría el carácter interdisciplinario del TPI, sino que permitiría compartir criterios de valoración, enriquecer el trabajo colaborativo docente y ampliar las perspectivas desde las que se analiza el desempeño estudiantil.

Como indicador del impacto alcanzado, al cierre del cuatrimestre tres estudiantes manifestaron su interés en avanzar con la implementación real de la aplicación desarrollada, de manera independiente de las asignaturas que cursan en el segundo cuatrimestre. Esta iniciativa fue apoyada por el equipo docente e investigadoras, que propuso continuar el acompañamiento en una etapa extracurricular, potenciando así la transferencia del aprendizaje hacia un entorno de aplicación concreta y en beneficio de la propia comunidad.

Finalmente, y en coherencia con el marco del Proyecto de Investigación que dio origen a esta experiencia, se sostiene la importancia de mantener presente la perspectiva de género como principio orientador del diseño y la evaluación. Este enfoque no se limita únicamente a garantizar la igualdad de participación, sino que invita a problematizar las dinámicas de poder, visibilizar voces históricamente relegadas y promover entornos de aprendizaje donde las diferencias se valoren como fuente de enriquecimiento colectivo. De este modo, se busca que las propuestas no solo sean técnicamente consistentes, sino también socialmente relevantes, inclusivas y libres de sesgos, contribuyendo a la formación de profesionales con una mirada crítica y comprometida con la justicia social y la equidad en sus futuros ámbitos de desempeño.

## Agradecimientos

Se agradece especialmente a las y los estudiantes cursantes de la asignatura Investigación Operativa en el año 2025, por su compromiso, creatividad y solidaridad durante el desarrollo de esta experiencia.

Asimismo, se reconoce al equipo docente de la cátedra, al proyecto de investigación en el que se enmarca esta iniciativa, y a la Facultad Regional Villa María de la Universidad Tecnológica Nacional, por el apoyo institucional brindado para su realización.

## Referencias

[1] Soria, M; Toselli, L. (2025) Del diseño a la implementación: una experiencia de integración de competencias mediante ABP en Ingeniería. CONAIISI 2025, en evaluación.

[2] Thomas, J. (2000). A Review of Research on Project-Based Learning.

[3] Boss, S., & Krauss, J. (2018). Reinventing project-based learning. ISTE.

[4] L. Zhang y Y. Ma, «A study of the impact of project-based learning on student learning effects: a meta-analysis study», Front. Psychol., vol. 14, p. 1202728, jul. 2023, doi: 10.3389/fpsyg.2023.1202728.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[5] Brookfield, S.D. (2017). Becoming a Critically Reflective Teacher. [Convertirse en un profesor críticamente reflexivo (2ª ed.). San Francisco ,ES: Jossey Bass.

[6] Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? Educational Psychology Review, 16(3), 235–266.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aprendizaje activo y evaluación híbrida en Lógica y Estructuras Discretas. Un enfoque por competencias

***Fernández M.[1], Vargas C.[1]***
*[1]Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional – Argentina*
*mgfernandez@ca.frre.utn.edu.ar - mirta.fernandez@comunidad.unne.edu.ar*
*ingvargas@gfe.frre.utn.edu.ar*

**Resumen**

*Este trabajo describe la experiencia de enseñanza-aprendizaje implementada en la asignatura Lógica y Estructuras Discretas de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN – Facultad Regional Resistencia, adoptando un modelo basado en el desarrollo de competencias. El diseño pedagógico integra clases presenciales semanales (teórica y práctica) con evaluaciones presenciales (individuales y grupales) y una evaluación virtual, buscando articular conocimientos teóricos y habilidades prácticas mientras fomenta el pensamiento lógico, la modelización de problemas y la autonomía estudiantil. Se presentan resultados comparativos de las evaluaciones presenciales y virtuales, junto con observaciones sobre la participación estudiantil y el logro de competencias. Los datos evidencian que la combinación de instancias presenciales y virtuales favorece el aprendizaje significativo y la autoevaluación.*

## Palabras clave

Enseñanza por competencias – Educación en ingeniería – Lógica computacional– Evaluación híbrida – Aprendizaje activo

## 1. Introducción

La formación contemporánea en ingeniería demanda la integración de saberes conceptuales, procedimentales y actitudinales para responder eficazmente a las exigencias del mercado laboral actual. En este contexto, la enseñanza por competencias emerge como un enfoque pedagógico que vincula sistemáticamente el conocimiento teórico con su aplicación práctica en contextos reales o simulados.

La asignatura Lógica y Estructuras Discretas, situada en el primer año de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN – FR Resistencia, constituye un pilar fundamental para el desarrollo del pensamiento lógico y la resolución algorítmica de problemas. Durante el ciclo lectivo 2024, se implementó una organización curricular que articula clases teóricas y prácticas presenciales con evaluaciones tanto presenciales como virtuales, orientadas específicamente al desarrollo de competencias clave para la formación profesional.

### 1.1 La educación en ingeniería y el paradigma por competencias

La educación en ingeniería interpela a preparar profesionales capaces de desenvolverse en entornos caracterizados por la innovación constante, la transformación digital y la demanda de soluciones sostenibles. Ante este escenario, el enfoque por competencias ha sido adoptado por numerosas instituciones de educación superior como modelo pedagógico que integra conocimientos, habilidades y actitudes para lograr un desempeño eficaz en contextos profesionales reales [1].

Este modelo pedagógico promueve el aprendizaje activo y la evaluación auténtica, facilitando que los estudiantes desarrollen tanto competencias técnicas específicas como competencias transversales fundamentales, incluyendo el trabajo colaborativo, la comunicación efectiva y la capacidad de aprendizaje autónomo [2].

### 1.2 Lógica y Estructuras Discretas en la formación de ingenieros en sistemas

La asignatura Lógica y Estructuras Discretas representa uno de los pilares conceptuales fundamentales en las carreras de Ingeniería en Sistemas de Información, proporcionando las bases del pensamiento lógico-formal, la abstracción matemática y la modelización sistemática de problemas [3]. Estos fundamentos resultan esenciales para múltiples áreas del conocimiento profesional: el diseño y análisis de algoritmos, la evaluación de complejidad computacional, la comprensión de estructuras de datos y el desarrollo de software robusto [4].

Adicionalmente, su enseñanza fortalece la capacidad estudiantil para aplicar modelos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



matemáticos formales en la resolución de problemas del mundo real, estableciendo así un vínculo sólido entre el fundamento teórico y la práctica profesional.

### 1.3 Transición del modelo transmisivo hacia el aprendizaje activo

La enseñanza universitaria tradicional en ingeniería se ha fundamentado históricamente en un modelo transmisivo, caracterizado por la exposición magistral y la memorización de contenidos. Sin embargo, investigaciones demuestran que este enfoque resulta insuficiente para desarrollar competencias de orden superior, tales como el pensamiento crítico, la resolución creativa de problemas y la capacidad de transferencia de conocimientos [5].

La transición hacia metodologías activas —incluyendo el aprendizaje basado en problemas (ABP), la gamificación educativa y el aprendizaje colaborativo— reposiciona al estudiante como protagonista activo de su proceso formativo, mientras el docente asume el rol de mediador y facilitador. Esta transformación pedagógica genera mayor motivación estudiantil, mejora la retención del conocimiento y desarrolla competencias más alineadas con las demandas profesionales actuales [6].

### 1.4 Un objetivo central: la integración coherente de teoría, práctica y evaluación

En el contexto específico de la enseñanza de Lógica y Estructuras Discretas, el desafío principal consiste en lograr una articulación efectiva y coherente entre las instancias teóricas, las actividades prácticas y los procesos de evaluación. La separación rígida de estos componentes pedagógicos puede generar aprendizajes fragmentados y descontextualizados, mientras que su integración sistemática contribuye significativamente a la consolidación de competencias y al logro de un aprendizaje genuinamente significativo [7].

En este sentido, la implementación de evaluaciones híbridas —que combinan estratégicamente instancias presenciales y virtuales— permite no solo medir el dominio conceptual tradicional, sino también valorar habilidades fundamentales como la autonomía intelectual, la búsqueda crítica de información y la aplicación contextualizada de conocimientos en entornos diversos [8].

## 2. Marco teórico

### 2.1 Competencias en Matemáticas Discretas

El desarrollo del pensamiento lógico-matemático presenta desafíos específicos en estudiantes de primer año universitario. Tall identifica la transición del pensamiento elemental al formal como un proceso complejo que involucra diferentes niveles de abstracción [13]. En el contexto de lógica y estructuras discretas, esta transición implica desarrollar la capacidad de trabajar con objetos abstractos, relaciones formales y sistemas axiomáticos.

Dubinsky y McDonald describen cómo los estudiantes construyen gradualmente esquemas conceptuales en matemáticas avanzadas, requiriendo múltiples encuentros con los conceptos en diferentes contextos para lograr comprensión profunda [14]. Esta perspectiva fundamenta la demanda de integrar actividades teóricas, prácticas y evaluativas de manera coherente.

### 2.2 Tecnología educativa y Objetos de Aprendizaje (OA)

Los OA desarrollados bajo estándares SCORM (Sharable Content Object Reference Model) permiten crear experiencias educativas interactivas que facilitan la comprensión de conceptos abstractos [15]. En matemáticas discretas, la visualización computacional de estructuras como grafos, árboles y algoritmos ha demostrado mejorar significativamente la comprensión estudiantil [16].

La integración de estos recursos digitales en el proceso de enseñanza-aprendizaje refuerzan la experiencia áulica, también desarrolla competencias digitales esenciales para el ejercicio profesional actual [17].

### 2.3 La evaluación híbrida en educación en ingeniería

La evaluación híbrida, definida como la combinación estratégica de instancias presenciales y virtuales de evaluación, ha emergido como una herramienta efectiva para valorar competencias de manera integral en la formación en ingeniería [9]. Esta modalidad permite evaluar tanto el dominio conceptual tradicional como habilidades contemporáneas fundamentales como la autonomía intelectual y la aplicación contextualizada de conocimientos [10].

Garrison y Vaughan describen el enfoque híbrido como la fusión reflexiva de experiencias

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



presenciales y digitales, donde las fortalezas de cada modalidad se utilizan según los requerimientos específicos para el aprendizaje [11]. En el contexto de la evaluación, esto permite medir diferentes tipos de competencias: las instancias presenciales evalúan la aplicación directa y la formalización bajo presión temporal, mientras que las virtuales permiten valorar la gestión autónoma del tiempo, el uso crítico de recursos y la resolución de problemas complejos [12].

### 2.4 Competencias transversales y aprendizaje autónomo

La competencia de aprendizaje autónomo, definida como la capacidad del estudiante para dirigir su propio proceso formativo, identificar necesidades de aprendizaje y evaluar su progreso, resulta fundamental en contextos profesionales caracterizados por la actualización constante de conocimientos [18].

En evaluaciones virtuales, esta competencia se manifiesta en la capacidad de gestionar el tiempo, seleccionar recursos apropiados y aplicar estrategias metacognitivas para la resolución de problemas complejos [19]. El desarrollo de esta autonomía intelectual constituye uno de los objetivos centrales de la educación superior en ingeniería [20].

## 3. Contexto de la Asignatura

Lógica y Estructuras Discretas se cursa en el primer cuatrimestre del primer año de Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN – FR Resistencia. La asignatura cuenta con una matrícula anual de aproximadamente 360 estudiantes, distribuidos en cuatro comisiones de 90 alumnos cada una. Esta experiencia corresponde a una de estas comisiones, con 85 estudiantes regulares reales durante el ciclo 2025.
La asignatura se organiza en:

- **Clases presenciales:**
  - **Teórica:** exposición de conceptos, análisis de casos, ejemplos guiados.
  - **Práctica:** resolución de ejercicios, guías, problemas integradores.
- **Evaluaciones:**
  - **Presenciales:** Primer y Segundo parcial, compuestos de 85 % de resolución individual y 15 % trabajos grupales.
  - **Virtual:** El tercer parcial se realizó a través de la plataforma institucional.

### **3.1** Competencias evaluadas

La Tabla 1 especifica las competencias trabajadas, su definición operacional y los instrumentos de medición utilizados para cuantificar los resultados presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Competencias e instrumentos de evaluación

| **Competencia** | **Definición operacional** | **Instrumento** |
|---|---|---|
| **C1.Pensamiento lógico** | Construir proposiciones lógicas, aplicar reglas de inferencia | Demostraciones formales, tablas de verdad (rúbricas analíticas) |
| **C2: Modelización abstracta** | Representar problemas mediante estructuras discretas | Problemas contextualizados, modelos formales (rúbricas de pertinencia y corrección) |
| **C3: Algoritmos y complejidad** | Diseñar algoritmos y analizar eficiencia | Casos de prueba, análisis de complejidad |
| **C4: Comunicación matemática** | Expresar resultados con notación rigurosa | Soluciones escritas (rúbricas de claridad y rigor) |
| **C5: Autorregulación** | Gestionar el proceso de aprendizaje autónomo | Asistencia, desempeño en evaluación virtual |
| **C6: Colaboración** | Trabajar efectivamente en equipos | Actividades grupales (observación y productos) |

## 4. Metodologías implementadas

En el cursado se planificaron e implementaron la combinación de diversas metodologías:

- **Enfoque por competencias:** cada unidad didáctica especifica las competencias a desarrollar.
- **Aprendizaje activo:** resolución de problemas, análisis crítico, debates cortos, resolución grupal, aula invertida.
- **Desarrollo de material interactivo.** Para el desarrollo de algunos temas se dispusieron en el aula virtual, material de enseñanza desarrollando ejemplos y soluciones en formato SCORM, con el objetivo de reforzar la experiencia áulica.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



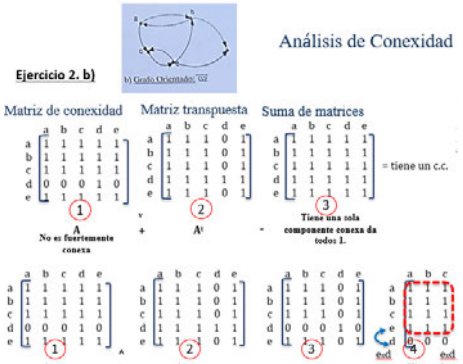



**Figura 1.** Material SCORM para Análisis de Conexidad en Grafos.

- **Evaluación híbrida:**
  - Presencial para asegurar la comprensión y aplicación directa.
  - Virtual para evaluar la autonomía, uso de recursos y gestión del tiempo.

## 5. Resultados y observaciones

Con base en los resultados generales del cursado del primer cuatrimestre, se obtuvo la **Tabla 2** de promedios de evaluaciones.

**Tabla 2 –** Comparativa de promedios de evaluaciones

| Tipo de Evaluación | Promedio (%) | Aprobados (%) | Desaprobados (%) |
|---|---|---|---|
| **1º Parcial (Presencial)** | 65% | 69% | 31% |
| **2º Parcial (Presencial)** | 78% | 84% | 16% |
| **3º Parcial (Virtual)** | 80% | 86% | 14% |

### 5.1 Algunas conclusiones clave

- **Mejora significativa:** El rendimiento promedio de los estudiantes tuvo un gran salto del primer al segundo parcial, pasando de un 65% a un 78%.
- **Consistencia de aprobación:** La tasa de aprobación se mantuvo consistentemente alta en los últimos dos parciales, superando el 80%.
- **Reducción de la desaprobación:** La tasa de desaprobación disminuyó drásticamente del primer al segundo parcial (del 31% al 16%), y se mantuvo baja en el tercer parcial.
- **Mejora en las calificaciones:** Se evidenció una mejora significativa en este aspecto.

Es menester también, poner en consideración, que ninguna de las estrategias redujo al cien por ciento la desaprobación, lo cual manifiesta que las estrategias no compensan ni aseguran la aprobación, sino que la responsabilidad del alumno sigue siendo determinante.

En la **Figura 2**, es posible visualizar y comparar los porcentajes resultantes.

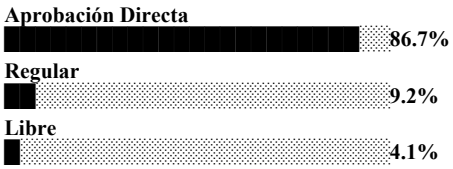



**Figura 2 –** Gráfico de Condición final en porcentaje

### 5.2 Observaciones cualitativas

- El rendimiento en el examen virtual superó al de las instancias presenciales, posiblemente por la disponibilidad de recursos y menor presión de tiempo.
- Valoración de recursos didácticos: Los estudiantes manifestaron alta valoración de las guías prácticas como herramienta de preparación para las evaluaciones presenciales, destacando su contribución a la sistematización del proceso de resolución de problemas.
- Retención y compromiso académico: Se observó una notable tasa de asistencia y permanencia estudiantil a lo largo del cursado, aspecto particularmente relevante considerando las crecientes dificultades para mantener el "engagement" estudiantil en asignaturas de alta exigencia conceptual.
- Adaptación a modalidades híbridas: Los estudiantes demostraron capacidad de adaptación efectiva a las diferentes modalidades evaluativas, sugiriendo el desarrollo progresivo de competencias de aprendizaje autónomo y gestión académica.

### 5.3 Desempeño por Competencias

La **Tabla 3** muestra el desempeño estudiantil desagregado por competencias disciplinares y transversales desarrolladas a lo largo del cursado. Se observa una progresión consistente en todas las competencias, con desempeño superior en la evaluación virtual, particularmente en modelización abstracta (82%) y comunicación matemática formal (80%). La competencia de comunicación requiere intervención pedagógica temprana, evidenciada por el desempeño débil en el primer parcial (62%).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 3.** Desempeño estudiantil según las competencias desarrolladas

| Competencia | 1° P (Presencial) | 2° P (Presencial) | 3° P (Virtual) | Hallazgo |
|---|---|---|---|---|
| **C1.** | 65% | 78% | 80% | Mejora consistente |
| **C2.** | 64% | 76% | 82% | Virtual favorece profundidad |
| **C3.** | 66% | 79% | 81% | Consolidación en ambas modalidades |
| **C4.** | 62% | 75% | 80% | Mejora notable, crítica al inicio |
| **C5.** | Asistencia 90%+ | Consultas activas | 86% aprobación | Desarrollo efectivo |
| **C6.** | 69% | 84% | — | Exitosa en presencial |

### 5.4 Evaluación de la experiencia desde la perspectiva estudiantil

Al finalizar el cursado, se implementó una encuesta institucional de evaluación docente respondida voluntariamente por 32 estudiantes (37.6% de la matrícula regular).

Los resultados, en escala de 1 (insuficiente) a 4 (sobresaliente), arrojaron un promedio general de 3.52, equivalente al 88% de satisfacción.

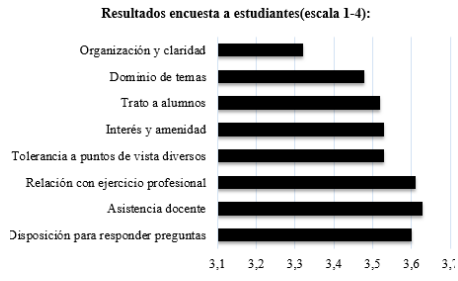



**Figura 3 –** Resultados de la encuesta institucional de evaluación docente

Del gráfico expuesto, es posible realizar las siguientes interpretaciones, las dimensiones más valoradas fueron:

- Disposición para responder preguntas e inquietudes: 3.60
- Asistencia y consistencia docente: 3.63
- Vinculación de contenidos con ejercicio profesional: 3.61

Estos indicadores sugieren que la metodología implementada —centrada en el aprendizaje activo y el rol docente como facilitador— fue percibida positivamente por los estudiantes. La alta valoración de la "disposición para responder preguntas" (3.60) respalda la efectividad del acompañamiento docente en el desarrollo de autonomía intelectual, mientras que la puntuación en "vinculación con ejercicio profesional" (3.61) evidencia que los estudiantes reconocen la pertinencia de los contenidos para su formación profesional.

El aspecto con menor valoración relativa fue "organización y claridad de exposición" (3.32), identificándose como área de mejora para futuras iteraciones. Esta retroalimentación coincide con las observaciones docentes sobre la importancia de fortalecer las competencias de comunicación matemática formal (C4) mediante estrategias pedagógicas más estructuradas.

La tasa de respuesta (37.6%), si bien moderada a baja, resulta consistente con promedios institucionales en encuestas voluntarias y proporciona indicadores valiosos sobre la experiencia estudiantil.

## 6. Discusión

La propuesta híbrida permite evaluar el dominio conceptual, así como también habilidades como la búsqueda de información y la resolución autónoma de problemas. No obstante, se identificaron las limitaciones propias del uso de tecnologías en el aula, lo que plantea reforzar el control de originalidad en la instancia virtual y de diseñar consignas que requieran análisis profundo en lugar de respuestas directas [21].

Los resultados diferenciados entre modalidades evaluativas evidencian que los estudiantes poseen comprensión conceptual sólida, sin embargo experimentan dificultades en la formalización matemática escrita, especialmente en la construcción de fórmulas lógicas y demostraciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



rigurosas. Esta disociación entre comprensión y expresión formal, ampliamente documentada en la literatura sobre aprendizaje de matemáticas abstractas [22] y [23], sugiere la utilización estrategias pedagógicas específicas para desarrollar competencias de comunicación matemática.

## 7. Conclusiones y trabajos futuros

El aprendizaje autónomo requiere de un enlace entre las variables cognitivas y las afectivo/motivacionales, que se deben tener presentes en el momento de diseñar y aplicar estrategias de aprendizaje.

En la asignatura objeto de estudio, se planificaron e implementaron diversas estrategias de enseñanza, a fin de mejorar la propuesta educativa. La experiencia que se presenta, evidencia que la combinación de clases teóricas y prácticas presenciales con evaluaciones híbridas contribuye al desarrollo de competencias clave en ingeniería. El trabajo representa una reorientación pedagógica integral y su objetivo es alinear la educación en ingeniería con las demandas de una sociedad en constante evolución, promoviendo así un aprendizaje que sea tanto significativo como perdurable.

Los resultados obtenidos confirma que la integración de metodologías activas y evaluación híbrida constituye una estrategia efectiva para el desarrollo de competencias en lógica y estructuras discretas ya que la integración sistemática de metodologías activas con un modelo de evaluación híbrido orientado a competencias, puede ser aplicable y transferible a otras asignaturas de ciencias básicas en ingeniería.

Si bien se reconocen limitaciones relacionadas con el control de originalidad en instancias virtuales, el modelo propuesto demuestra ser escalable y transferible a otras asignaturas de ciencias básicas. Esta investigación contribuye al corpus de conocimiento sobre innovación educativa en ingeniería y establece bases sólidas para futuras investigaciones en evaluación híbrida de competencias matemáticas.

Para próximos ciclos se propone:

- Incorporar actividades de gamificación o mejorar la aplicación de aula invertida, en prácticas.
- Ampliar el uso de rúbricas para evaluar competencias transversales.
- Optimizar el sistema de retroalimentación en el parcial virtual.
- Fomentar una mayor participación en las encuestas institucionales, resaltando su valor como instrumento de retroalimentación y mejora docente.

Entendiendo que estas estrategias brindan oportunidad de mejora en múltiples aspectos y de manera integral.

## 8. Referencias

[1] J. González and R. Wagenaar, Tuning Educational Structures in Europe: Final Report, Bilbao: University of Deusto, 2003.

[2] C. Tobón, Formación basada en competencias, Ecoe Ediciones, 2017.

[3] K. H. Rosen, Discrete Mathematics and Its Applications, 8th ed., McGraw-Hill, 2019.

[4] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, Introduction to Algorithms, 4th ed., MIT Press, 2022.

[5] J. Prince, “Does active learning work? A review of the research,” Journal of Engineering Education, vol. 93, no. 3, pp. 223–231, 2004.

[6] C. Bonwell and J. Eison, Active Learning: Creating Excitement in the Classroom, ASHE-ERIC Higher Education Report, 1991.

[7] D. Biggs, Teaching for Quality Learning at University, 4th ed., McGraw-Hill Education, 2011.

[8] L. Martínez, “Evaluación híbrida en la enseñanza de ingeniería: oportunidades y desafíos,” Revista Educación en Ingeniería, vol. 15, no. 2, pp. 45–57, 2023.

[9] C. R. Graham, "Blended learning systems: Definition, current trends, and future directions," in *The Handbook of Blended Learning*, C. J. Bonk and C. R. Graham, Eds. San Francisco, CA: Pfeiffer, 2006, pp. 3-21.

[10] A. G. Picciano, "Blending with purpose: The multimodal model," *J. Asynchronous Learn. Networks*, vol. 13, no. 1, pp. 7-18, 2009.

[11] D. R. Garrison and N. D. Vaughan, *Blended Learning in Higher Education*, San Francisco, CA: Jossey-Bass, 2008.

[12] L. Martínez, "Evaluación híbrida en la enseñanza de ingeniería: oportunidades y desafíos," *Rev. Educ. Ing.*, vol. 15, no. 2, pp. 45-57, 2023.

[13] D. Tall, "The transition to formal thinking in mathematics," *Math. Educ. Res. J.*, vol. 20, no. 2, pp. 5-24, 2008.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[14] E. Dubinsky and M. A. McDonald, "APOS: A constructivist theory of learning in undergraduate mathematics education research," in *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level*, D. Holton, Ed. Dordrecht: Kluwer, 2001, pp. 275-282.

[15] ADL Technical Team, "Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004," Advanced Distributed Learning, Alexandria, VA, 2009.

[16] B. A. Rossman and M. C. Horn, "Visualizing discrete mathematics with computational tools," *Comput. Educ.*, vol. 78, pp. 71-80, 2014.

[17] UNESCO, "ICT competency framework for teachers," United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France, 2018.

[18] P. C. Candy, *Self-Direction for Lifelong Learning*, San Francisco, CA: Jossey-Bass, 1991.

[19] J. Flavell, "Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive developmental inquiry," *Am. Psychol.*, vol. 34, no. 10, pp. 906-911, 1979.

[20] National Academy of Engineering, *Educating the Engineer of 2020*, Washington, DC: National Academies Press, 2005.

[21] Dubinsky, E., & Tall, D. (1991). Advanced mathematical thinking and the computer. En D. Tall (Ed.), Advanced mathematical thinking (pp. 231-248). Kluwer Academic Publishers.

[22] Tall, D. (2008). The transition to formal thinking in mathematics. Mathematics Education Research Journal, 20(2), 5-24.

[23] Roig Albiol, A. I. (2008). Análisis de las fases del proceso de abstracción matemática en estudiantes de secundaria [Tesis doctoral]. Universidad de Valencia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Design Thinking como catalizador de competencias gerenciales e ingenieriles

*Gilda R. Romero [1, 2, 3], Carolina Ileana Vargas [1,2]*
[1] Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Resistencia
[3] Universidad Nacional del Nordeste – Facultad de Humanidades
[2] Universidad de la Cuenca del Plata – Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura
*gilda.romero@gmail.com; ingcivargas@gmail.com*

## Resumen

*En un contexto caracterizado por la transformación digital, la complejidad organizacional y la necesidad de innovación en general, las competencias gerenciales en los futuros profesionales de la ingeniería son esenciales para el éxito de proyectos y procesos empresariales. Este trabajo explora la aplicación del Design Thinking (DT) para la identificación, análisis y propuesta de soluciones a problemáticas organizacionales "blandas" en empresas reales. La actividad se desarrolla en el marco del Trabajo Práctico Integrador (TPI), en la asignatura Gestión Gerencial, correspondiente al quinto nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de DT potencia la comprensión de la complejidad organizacional y promueve el uso de herramientas tecnológicas y gerenciales. Asimismo, se evidencian beneficios en términos de colaboración, pensamiento crítico e innovación orientada a la mejora del clima organizacional y la comunicación interna. Esta experiencia refuerza la relevancia del aprendizaje activo basado en contextos reales para la formación de ingenieros, contribuyendo al desarrollo de competencias gerenciales en entornos cada vez más dinámicos y digitales. El DT no solo promueve la creatividad y la innovación, sino que actúa como motor estratégico para la gestión eficiente y la formación de profesionales preparados para entornos complejos y dinámicos. El DT actúa como un catalizador de competencias gerenciales e ingenieriles.*

**Palabras claves:** Design Thinking, competencias gerenciales, *Cynefin*, Ingeniería en Sistemas, innovación educativa

## Introducción

El entorno global de los negocios ha sido caracterizado, a partir de la década de los 80, como VUCA (Volátil, Incierto, Complejo y Ambiguo), un concepto militar adaptado al mundo de los negocios para describir el desafío de la toma de decisiones estratégicas [11]. Más recientemente, a partir de 2020, Jamais Cascio propuso el modelo BANI (Frágil, Ansioso, No Lineal, Incomprensible) para reflejar con mayor precisión las condiciones actuales, donde la fragilidad, la ansiedad y la incomprensibilidad son más relevantes que la mera complejidad [14]. Este modelo ha surgido como respuesta a las limitaciones del concepto VUCA.

En resumen, los entornos contemporáneos de negocios se caracterizan por su Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad y Ambigüedad (*VUCA*), y por la creciente Fragilidad, Ansiedad, No Linealidad e Incomprensibilidad (*BANI*) que existe en ellos. En este contexto, el marco como *Cynefin* (Claro, Complicado, Complejo, Caótico, Desorden) ayuda a los líderes a identificar el contexto apropiado, comprenderlo y responder adecuadamente a distintos tipos de situaciones, aplicando estrategias situadas. En paralelo, el *Design Thinking* (DT) ha emergido como una metodología o marco estratégico para abordar problemas complejos de forma creativa, empática y centrada en soluciones [1].

En lo referido a los profesionales, este dinamismo del entorno empresarial actual requiere de profesionales con sólidas competencias gerenciales que les permitan justamente abordar los desafíos complejos y multidimensionales. En particular, la formación de competencias gerenciales en la carrera de Ingeniería en Sistemas constituye un gran desafío, ya que los problemas organizacionales denominados “blandos” adquieren relevancia y deben abordarse en una combinación estratégica con los sistemas de información.

En la propuesta de cátedra de la asignatura *Gestión Gerencial,* 5º nivel de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, desde 2017 se han incorporado diversas estrategias educativas que se enmarcan en las metodologías activas: desde el aprendizaje basado en problemas (PBL) [2], generando una bitácora [3], hasta el uso del portfolio para fortalecer la mirada sistémica [4], reforzando la trayectoria en la formación basada en competencias. Este trabajo propone un paso más en esa evolución: el uso del Design Thinking [5], posicionándolo como catalizador de competencias híbridas, puntualmente en el marco del Trabajo Práctico Integrador (TPI). De esta manera, se busca demostrar que DT funciona como catalizador en la adquisición de competencias clave, apoyándose en dispositivos andragógicos y adaptándose a contextos VUCA/BANI y en marcos conceptuales

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



contemporáneos como Cynefin, que orientan la toma de decisiones en entornos complejos.

En la propuesta, Design Thinking guía la resolución de "problemáticas blandas" identificadas en las organizaciones reales, sujeto de estudio. El enfoque se alinea con la vasta experiencia de la cátedra en la formación basada en competencias y el Aprendizaje Centrado en el Estudiante (ACE) [7] [8] con la aplicación de metodologías activas/ágiles, buscando optimizar la gestión y la toma de decisiones a través de la integración de Sistemas de Información (SI) y Tecnologías de la Información (TI).

Este trabajo detalla cómo se implementaron las fases del Design Thinking (empatizar, mediante entrevistas y elaboración de mapas de empatía; definir, con la formulación del Problem Statement; idear, aplicando técnicas de creatividad; prototipar, mediante la propuesta digital; y testear, con la validación por parte de la empresa) para abordar los desafíos complejos identificados en las organizaciones e integrando tanto los Sistemas de Información (SI), las Tecnologías de la Información (TI) y las herramientas de gestión.

En contraste con experiencias previas donde se ha aplicado Design Thinking (DT) como actividad puntual o taller complementario, este trabajo propone una integración sistemática de DT dentro de un Trabajo Práctico Integrador (TPI) de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. La propuesta se distingue por articular marcos conceptuales de diagnóstico y decisión (VUCA, BANI y Cynefin) antes de la aplicación de DT, y por incluir instrumentos originales de evaluación y retroalimentación, como la *malla receptora de información* y el *portafolio reflexivo de aprendizaje*. Asimismo, se mapean competencias gerenciales e ingenieriles por fase del proceso, aportando evidencia cuantitativa de desempeño y una guía replicable para otras asignaturas o instituciones. Estas características posicionan la experiencia como un avance metodológico y operativo respecto de estudios previos en educación en ingeniería.

Este documento se organiza de la siguiente manera: en la sección de Marco Teórico/Conceptual se presentan los conceptos fundamentales relacionados con Design Thinking, así como los marcos de referencia VUCA, BANI y Cynefin. La sección de Metodología de cátedra describe la implementación del Trabajo Práctico Integrador (TPI) con el detalle de los dispositivos y herramientas utilizados. En Resultados y Discusión se exponen los hallazgos obtenidos durante la experiencia y se analizan los aprendizajes y se relacionan con la literatura existente. Finalmente, en Conclusiones se sintetizan las aportaciones del trabajo y se plantean recomendaciones para la formación de ingenieros preparados para entornos complejos y dinámicos.

## Marco Teórico/Conceptual

En este apartado se presentan los conceptos, marcos conceptuales y metodologías que sustentan la experiencia que se presenta. Se brinda el detalle del andamiaje teórico utilizado para comprender cómo la cátedra adopta e implementa Design Thinking (DT) para que actúe como catalizador de competencias gerenciales e ingenieriles, articulando conocimientos técnicos, estratégicos y creativos.

### Design Thinking

El Design Thinking, impulsado por autores como Brown [5] y Liedtka, King y Bennett [6], se ha consolidado como un marco de trabajo que transforma la forma en que las organizaciones abordan las situaciones problemáticas y se orientan a la innovación. El DT se presenta como una herramienta que promueve la innovación centrada en las necesidades de los usuarios y se fundamenta en cinco etapas iterativas:

- *Empatizar*: comprensión de las personas y del contexto, para desarrollar soluciones que realmente resuelvan sus necesidades y deseos.
- *Definir*: etapa en la cual se trabaja sobre los insights y se explora el problema desde diversas perspectivas para obtener una comprensión más completa y se define el problema o la situación clave.
- *Idear*: generación de soluciones creativas y divergentes. Todas las ideas son válidas. Se deben aplicar técnicas que permitan fomentar la generación libre de ideas sin juicios.
- *Prototipar*: creación de representaciones tangibles de una o más ideas que se presume que atiendan la problemática planteada. Se pueden combinar y refinar las ideas para desarrollar soluciones viables.
- *Testear*: evaluación en la práctica del prototipo generado para identificar posibles mejoras. Etapa intrínsecamente iterativa y de aprendizaje basado en feedback.

Design Thinking se concibe como un proceso no lineal [8] en el que los equipos pueden moverse entre fases según los hallazgos y aprendizajes obtenidos. Por ejemplo, los resultados de las *pruebas* pueden llevar a regresar a la etapa de *definición* si revelan información que redefine el problema, o un *prototipo* puede generar nuevas *ideas* que impulsan a retomar la fase de *ideación*. De igual manera, las pruebas pueden originar proyectos adicionales o aportar nuevos conocimientos sobre los usuarios. En definitiva, las 5 fases se retroalimentan. La figura 1 detalla este ejemplo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



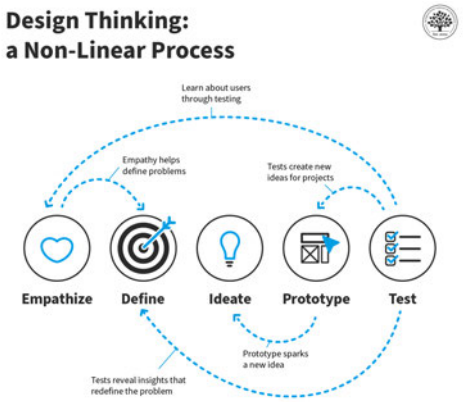



Figura 1 - Design Thinking: un proceso no lineal.
Fuente: [8]

En DT, en lugar de seguir una secuencia rígida de fases, el proceso permite a los equipos moverse entre las fases según sea necesario, fomentando la reflexión continua y la adaptación a medida que se obtienen nuevos conocimientos. Este enfoque es particularmente valioso en contextos donde los problemas son complejos y las soluciones deben evolucionar en respuesta a la retroalimentación y el aprendizaje constante.

## Paradigmas VUCA y BANI

VUCA (acrónimo, por sus siglas en inglés de Volatility, Uncertainty, Complexity y Ambiguity, en español: Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad y Ambigüedad) es un concepto que ha sido introducido por primera vez por el U.S. Army War College hacia fines de la década de 1980, en el contexto de la posguerra fría, para describir entornos estratégicos cambiantes [10]. Hacia 1985, este concepto fue adoptado y difundido desde el ámbito militar al organizacional, al ámbito del management y el liderazgo organizacional, especialmente a partir de las obras de Bennis y Nanus [11], quienes, aunque no emplearon explícitamente el término, sentaron las bases conceptuales sobre la necesidad de nuevas formas de liderazgo frente a la complejidad.

Luego, a partir de los años 2000, el concepto comenzó a difundirse en la literatura de liderazgo y management para explicar entornos empresariales caracterizados por la volatilidad, la incertidumbre, la complejidad y la ambigüedad, especialmente con el trabajo de Johansen [12]. VUCA caracterizaría al entorno global de los negocios con una naturaleza caótica y desafiante de los mercados modernos [11], ya que todas las organizaciones y diversos espacios viven de acuerdo con estas cuatro premisas [13] que dan significado al acrónimo, a saber:

- *Volatilidad* se refiere a la velocidad con la que se desarrollan las situaciones y los catalizadores de modificación que están presentes diariamente, generando un cambio continuo y constante.
- *Incertidumbre* es la falta de predictibilidad, generando sorpresas en el mercado y el comportamiento de los consumidores y/o usuarios o clientes. Y, al mismo tiempo, la incapacidad del ser humano, incluso ayudado por inteligencia artificial, para observar, controlar y entender todas las variables que forman parte de las secuencias que explican los porqués de las cosas.
- *Complejidad* alude a la multiplicidad de fuerzas y a la mezcolanza de asuntos que llega a romper el concepto causa-efecto y genera confusión organizativa, dando lugar a entornos y relaciones complejas.
- *Ambigüedad* pone de manifiesto la distorsión de la realidad y deja entrever los significados de las acciones, necesidades y/u objetivos, siendo un campo de cultivo para los malentendidos y las confusiones.

El contexto generado por la pandemia de COVID-19 a partir de 2020 ha sido un ejemplo concreto de la dinámica de un entorno VUCA y, a la vez, ha evidenciado la fragilidad de los sistemas sociales y productivos, la creciente ansiedad colectiva, la no linealidad de los procesos de cambio y la dificultad para comprender fenómenos de alcance global. Durante más de dos años, la crisis sanitaria y sus impactos económicos y sociales confirmaron la necesidad de marcos analíticos y de gestión capaces de abordar la complejidad y la incertidumbre en escenarios contemporáneos. En este sentido, ha emergido el concepto BANI (acrónimo de *Brittle, Anxious, Non linear, Incomprehensible* en inglés y en español: Frágil, Ansioso, No Lineal, Incomprensible), introducido por Jamais Cascio [14], con el propósito de caracterizar un entorno global quebradizo, ansioso, no lineal e incomprensible.

Este enfoque ha sido adoptado por diversos estudios que analizan su aplicabilidad en contextos empresariales y educativos, tal es el caso de Schlegelmilch [15], que argumenta que el modelo BANI ayuda a las empresas a navegar en un mundo caótico y a superar con éxito los desafíos, enfatizando la necesidad de liderazgo con coraje, empatía y adaptabilidad. Estudios propuestos por Murgatroyd [16] han explorado cómo la cultura organizacional en general, y el desarrollo de líderes en particular, contribuyen al desarrollo de habilidades necesarias para navegar las complejidades y la incertidumbre inherentes al entorno BANI. Finalmente, Kruse [17] destaca que el modelo BANI refleja mejor la nueva realidad empresarial (sistemas frágiles, personas ansiosas, resultados no lineales y complejidad incomprensible) y propone un modelo de liderazgo capaz de navegar en este entorno, enfocándose en la visión, la empatía y la adaptabilidad; siendo un paradigma “ágil”. La

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



figura 2 muestra ambos acrónimos y el cambio de uno a otro, siendo el cambio "una constante". [18]




Figura 2 - VUCA y BANI
Fuente: [18]

La transición de un mundo VUCA a un mundo BANI es un cambio de paradigma que requiere nuevas estrategias de liderazgo y una reevaluación de las habilidades necesarias para los líderes modernos ya que en BANI el foco está en la resiliencia, la adaptabilidad y la capacidad de respuesta de las organizaciones y los líderes frente a entornos profundamente frágiles y complejos, a diferencia de VUCA, que enfatiza la volatilidad y la incertidumbre. BANI ofrece un marco más adecuado para la planificación estratégica, la toma de decisiones y el desarrollo de competencias gerenciales e ingenieriles en un mundo cada vez más dinámico y desafiante [14].

## Marco Cynefin

Cynefin es un framework de gestión desarrollado por Snowden y Boone [19] hacia 2007 que ofrece un modelo conceptual para la toma de decisiones en escenarios complejos.

Este marco clasifica los problemas en cinco dominios: Claro (o Simple), Complicado, Complejo, Caótico y Desorden que buscan guían la respuesta gerencial adecuada, ya que cada dominio requiere acciones diferentes, por ejemplo los contextos simples y complejos presuponen un universo ordenado donde las relaciones de causa y efecto son perceptibles y las respuestas correctas pueden determinarse con base en los hechos, por su parte, los contextos complejos y caóticos no están ordenados (no existe una relación inmediatamente aparente entre causa y efecto) por lo que el camino a seguir se determina con base en patrones emergentes. El mundo ordenado es el mundo de la gestión basada en hechos, mientras que el mundo desordenado representa la gestión basada en patrones. Finalmente, la naturaleza del desorden dificulta especialmente reconocer cuándo uno se encuentra en él por lo que múltiples perspectivas compiten por la prominencia y la salida a este problema es dividir la situación en sus partes constituyentes y asignar cada una a una de las otras cuatro áreas. Los líderes pueden entonces tomar decisiones e intervenir de manera apropiada según el contexto.

Por lo general, a cada dominio se le asocia un color [20] para facilitar la discusión y el análisis dentro del marco Cynefin (Ver Figura 3). En líneas generales:

- En un dominio *claro,* la solución es obvia, por lo cual se pueden categorizar los tipos de soluciones y aplicar mejores prácticas, es decir, procedimientos estándar y reglas bien establecidas que han demostrado ser efectivas y eficientes en este tipo de situaciones. A menudo representado por el color blanco o amarillo.
- En un dominio *complicado* es requerido un análisis pormenorizado o conocimiento de un experto, aquí es importante responder con buenas prácticas (las recomendadas por expertos basadas en su conocimiento y experiencia). Frecuentemente asociado con el color azul.
- En un dominio *complejo* se deben experimentar alternativas e interactuar para encontrar soluciones, ya que la relación causa-efecto se comprende solo en retrospectiva; no hay respuestas inmediatas, y se necesitan enfoques que permitan experimentar. Se buscan prácticas emergentes. Comúnmente representado por el color verde.
- En un dominio *caótico*, se debe actuar de inmediato, ya que se considera de emergencia, por lo que la solución estará categorizada como una práctica novedosa. Usualmente asociado con el color rojo.
- En un dominio de *desorden* es requerido definir el dominio primero para luego actuar, ya que es un estado de confusión donde no está claro en qué dominio se está operando. Se debe diagnosticar la situación correctamente para moverse hacia el dominio correspondiente. A menudo se representa con el color gris.

El valor del marco Cynefin radica en ayudar a los líderes a identificar el contexto de un problema (el contexto operativo predominante) y tomar la decisión más adecuada, en lugar de solo describir el entorno.

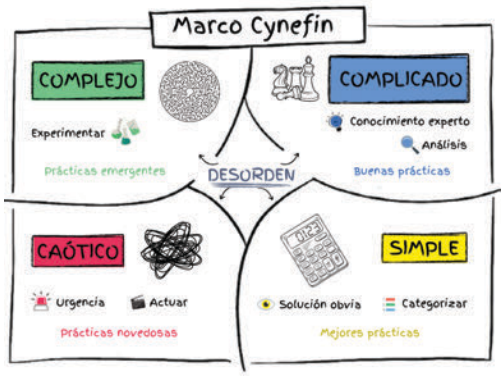



Figura 3 - Marco Cynefin
Fuente: [20]

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Base de conocimiento de la cátedra

La metodología del Trabajo Práctico Integrador (TPI) se nutre de la experiencia consolidada de la cátedra en enfoques andragógicos innovadores orientados al desarrollo de competencias de los últimos años tales como:

- *Aprendizaje por resolución de problemas* en la cátedra. Desde 2017, la cátedra ha adoptado la implementación de metodologías activas, tales como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) (problem-based learning, PBL, por sus siglas en inglés), donde los estudiantes enfrentan desafíos reales, desarrollan habilidades de análisis crítico, investigación y propuesta de soluciones, fortaleciendo sus competencias de manera práctica y significativa. [2]
- *Bitácora de experiencias para la enseñanza de competencias gerenciales.* Una herramienta probada que ha permitido a los estudiantes registrar sus experiencias, reflexionar críticamente sobre la aplicación de conocimientos y habilidades en situaciones prácticas, fomentando la autoevaluación y el aprendizaje continuo, aspectos clave para la formación. [3]
- El *portfolio como herramienta para desarrollar* la *mirada sistémica* en la formación gerencial. Esta herramienta demuestra el compromiso de la cátedra con el fomento del pensamiento sistémico a través de la documentación reflexiva de los procesos de aprendizaje. El portfolio es una herramienta clave en el "Micrositio (Portfolio)" que se pide a los equipos para registrar las Lecciones Aprendidas (LA) y Oportunidades de Mejora (OM). Es un dispositivo que se utiliza con éxito y mejoras continuas desde 2023. [4]

### Originalidad del diseño

La implementación propuesta trasciende las aplicaciones tradicionales de Design Thinking en contextos educativos. En este caso, el enfoque se utilizó **como arquitectura metodológica completa** que organiza todas las fases del Trabajo Práctico Integrador, desde la empatía inicial hasta el testeo con actores reales. La secuencia se apoya en **marcos de análisis de la complejidad (VUCA, BANI y Cynefin)**, que orientan la formulación de problemas y la selección de estrategias de abordaje.

## Metodología propuesta en la cátedra

Considerando el marco teórico/conceptual, en particular, la propuesta de la cátedra es desarrollar un camino progresivo hacia metodologías cada vez más integradoras de competencias gerenciales e ingenieriles con el Aprendizaje Centrado en el Estudiante (ACE).

En este contexto, la utilización de Design Thinking se apoya en la base de conocimiento de la cátedra, donde los dispositivos y las estrategias utilizadas actúan como soportes andragógicos que guían el proceso de aprendizaje. Por ejemplo, el portfolio se utiliza como dispositivo de reflexión y evidencia de aprendizaje, que se usa en paralelo para reforzar la mirada holística de la organización; así, el DT genera soluciones y el portfolio documenta y permite evaluar competencias gerenciales emergentes (pensamiento sistémico, integración de herramientas, reflexión sobre la práctica). Además, DT agrega un componente creativo, empático y de prototipado que complementa la lógica de PBL. Este antecedente muestra la evolución andragógica: de PBL (centrado en problemas) a DT (centrado en usuarios y soluciones innovadoras).

Por otro lado, los VUCA, BANI y Cynefin son conceptos que se relacionan en su objetivo de ayudar a las organizaciones a adaptarse a un mundo cambiante y, particularmente, Cynefin ofrece una metodología para actuar dentro de los marcos de VUCA y BANI.

Así, la metodología central del TPI se estructura en torno a las fases del **Design Thinking**, propuesto por Brown [5] permitiendo una aproximación iterativa y centrada en el usuario a las problemáticas organizacionales, a saber:

- *Empatizar***:** esta fase implica la selección de una empresa real, la investigación exhaustiva para comprender sus necesidades (a través de entrevistas y análisis de contenido publicado en redes sociales) y la identificación de posibles problemas organizacionales "blandos" (por ej. resistencia al cambio, cultura disfuncional, problemas de comunicación). Se elaboran mapas de empatía y un informe inicial.

- *Definir***:** aquí se profundiza en la descripción de la organización (macroentorno, visión, misión, estructura, cultura, etc.) y se realiza la formulación precisa de un *Problem Statement*, que define el desafío gerencial a abordar.
  El Problem Statement es una declaración clara y concisa del problema que se busca resolver en un proceso de Design Thinking, cuyo propósito es enfocar el esfuerzo del equipo en comprender las necesidades del usuario en lugar de apresurarse a buscar soluciones. La construcción se realiza a partir de la identificación de las necesidades (verbos) y de los insights para construir frases siguiendo este esquema/estructura: **[Usuario] necesita [necesidad] porque [motivación o problema subyacente].** Un ejemplo, de uno de los equipos de trabajo ha sido:

> **Problem Statement:**
> *"[Los colaboradores de la empresa X] necesitan [canales efectivos y dinámicos para la comunicación y coordinación interna] porque [la falta de información oportuna y la ausencia de liderazgo participativo generan retrabajos y afectan*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*el clima organizacional]".*

- *Idear*: a partir del Problem Statement refinado, se emplean técnicas de ideación como HMW (How Might We...) y otras (por ej. Seis Sombreros para pensar, Brainstorming, entre otras) para generar múltiples soluciones. Las propuestas incluyen estrategias, la aplicación de SI/TI para la innovación de procesos de negocios, la caracterización de sistemas de información adecuados, gráficos de procesos de negocio optimizados (BPM) y herramientas tecnológicas para la gestión de proyectos y mejora de la calidad. Se identifican cambios factibles y deseables, ventajas competitivas y una idea de solución a desarrollar.

- *Prototipar*: a partir de una de las ideas se desarrolla una propuesta de solución detallada, que incluye estrategias, sistemas de información y tecnologías aplicadas, y un plan de implementación. El diseño de la propuesta de solución se apoya en plataformas de gestión colaborativa y se realiza un modelado Canvas del impacto de la solución en el negocio.

- *Testear*: la propuesta de solución se presenta a la organización para obtener feedback, el cual se organiza en una *malla receptora de información*.
  La malla receptora de información recopila información para obtener feedback, es decir, datos relevantes desde diferentes fuentes para entender mejor el problema y diseñar soluciones efectivas. Se construye durante el feedback o en un momento posterior. La figura 4 muestra el detalle de sus partes: cosas interesantes/notables, críticas constructivas, dudas o nuevas ideas (ver cada una de las partes).




Figura 4 - Malla receptora de Información
Fuente: elaboración propia

  El informe final documenta todo el proceso, destacando las competencias gerenciales desarrolladas a lo largo del TPI.

Esta estructura guía a los estudiantes a través de un proceso de carácter iterativo y colaborativo que va más allá de la teoría, fomentando la aplicación práctica y el desarrollo de competencias transversales y potencia competencias clave de carácter *ingenieril* (como el pensamiento crítico, resolución de problemas complejos, prototipado rápido) y *gerencial* (liderazgo adaptativo, gestión de la innovación, comunicación efectiva).

## Integración DT y competencias

El DT actúa como catalizador en el sentido de que permite que los estudiantes desarrollen simultáneamente competencias gerenciales e ingenieriles mediante actividades prácticas, trabajo colaborativo y experimentación iterativa. La tabla 1 detalla el mapeo de competencias, por fase del DT, propuesto para el caso.

Tabla 1 - Mapeo de competencias por fase del DT
Fuente: elaboración propia

| **Fase DT** | **Competencias** | |
|---|---|---|
| | **Gerenciales** | **Ingenieriles** |
| Empatizar | Escucha activa, liderazgo empático | Análisis contextual, observación sistemática |
| Definir | Pensamiento crítico, toma de decisiones | Síntesis de información, identificación de problemas |
| Idear | Creatividad, colaboración interdisciplinaria | Innovación, generación de soluciones técnicas |
| Prototipar | Gestión de recursos, planificación ágil | Diseño de prototipos, experimentación rápida |
| Testear | Feedback y aprendizaje iterativo | Validación técnica, optimización de soluciones |

## El TPI: VUCA, BANI y el marco Cynefin

Si bien la formación ingenieril en el contexto actual debe considerar la naturaleza VUCA del entorno de negocios, el TPI busca ir un paso más allá debido a que se centra en la aplicación de una metodología prescriptiva: el Design Thinking, la cual se alinea con el marco Cynefin. VUCA se presenta como una herramienta de diagnóstico que describe el estado del mundo sin ofrecer un manual de instrucciones para actuar en él. VUCA dice qué se debe observar, mientras que Cynefin y Design Thinking muestran posibilidades de cómo se debe actuar.

De esta forma, con el TPI se produce la transición de un análisis descriptivo a un enfoque práctico y prescriptivo, buscando preparar a los futuros ingenieros no solo para reconocer que el mundo es VUCA, sino para desarrollar las habilidades y el mindset necesarios para operar con éxito dentro de él, pasando de ser meros

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



observadores a actores proactivos y creativos. La Tabla 2 resume estos conceptos.

Tabla 2 - Mapeo de competencias por fase del DT
Fuente: elaboración propia

| **Característica** | **Marco VUCA** (Análisis descriptivo) | **TPI y DT** (Acción prescriptiva) |
|---|---|---|
| Volatilidad | Describe la velocidad y magnitud del cambio. | El proceso iterativo del TPI permite la adaptación continua a los cambios. |
| Incertidumbre | Reconoce la falta de predicción y la posibilidad de sorpresa. | La fase de "Empatizar" mitiga la incertidumbre al centrarse en la comprensión profunda del problema antes de actuar. |
| Complejidad | Identifica las múltiples variables interconectadas. | La experimentación busca encontrar patrones y soluciones emergentes. |
| Ambigüedad | Define la falta de claridad en las relaciones de causa y efecto. | El "Prototipado" y el "Testeo" proveen un ciclo de *feedback* rápido para validar la claridad de la solución. |

## Resultados de la experiencia

La experiencia evidenció cómo la aplicación del Design Thinking anclada en un sólido enfoque de aprendizaje por resolución de problemas y potenciada por la reflexión sobre las competencias gerenciales y el pensamiento sistémico, permitiendo:

- Una identificación y definición más precisa de problemáticas organizacionales "blandas", focalizándose en identificar la necesidad organizacional.
- El diseño de soluciones innovadoras y factibles, integrando SI/TI.
- El fomento de la transformación digital en empresas locales.
- El desarrollo integral de competencias gerenciales (por ej. análisis de problemas, resolución de problemas, comunicación, trabajo en equipo, creatividad e innovación) y la mirada sistémica en los futuros profesionales.

Se observó, además, que el enfoque centrado en el usuario fortalece la cultura organizacional orientada a la innovación.

### Rendimiento por fase del TPI: estadísticas

El análisis de los trabajos finales y del registro de tutorías revela el rendimiento de los equipos en cada una de las fases del TPI. Las calificaciones, de "Avanzado" a "Básico", permiten cuantificar el desempeño de los equipos en cada etapa de la metodología de Design Thinking. La tabla 3 muestra el resumen del rendimiento por cada fase.

Tabla 3 - Mapeo de competencias por fase del DT
Fuente: elaboración propia

| **Fase** | **Calificación** | **Rendimiento** |
|---|---|---|
| Fase 1: Preparación | Avanzado | 100% (11/11 equipos). |
| Fase 2: Empatizar | Avanzado | 100% (11/11 equipos). |
| Fase 3: Definir | Avanzado | 54.5% (6/11 equipos). |
| | Básico | 36.4% (4/11 equipos, afectando a 16 miembros) |
| | Competente | 9.1% (1/11 equipos). |
| Fase 4: Empatizar / Definir | Avanzado | 100% (11/11 equipos). |
| Fase 5: Idear / Prototipar | Avanzado | 81.8% (9/11 equipos) |
| | Competente | 18.2% (2/11 equipos). |
| Fase 6: Testear | Avanzado | 81.8% (9/11 equipos). |
| | Competente | 18.2% (2/11 equipos). |

En la fase 1 de “Preparación”, todos los equipos cumplieron con los requisitos iniciales, como la formación de equipos, la elección del nombre y el registro de la información. La fase 3 de Definición mostró el mayor grado de dificultad, con un porcentaje significativo de equipos que obtuvieron una calificación "Básica" debido a la falta de cumplimiento en la documentación requerida.

En la fase 4: Empatizar/Definir, todos los equipos lograron recuperar el ritmo de trabajo y ajustar su Problem Statement, alcanzando un rendimiento "Avanzado" en esta etapa. La fase final de la defensa y la presentación de la propuesta mantuvo el mismo patrón que la fase anterior, con una gran mayoría de los equipos alcanzando el máximo rendimiento.

### Rendimiento por fase del TPI: actividades y evidencias

El TPI permitió que los equipos de estudiantes abordaran problemáticas organizacionales blandas en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



empresas reales mediante DT, considerando los marcos VUCA, BANI y Cynefin a través de las diferentes fases. Por ejemplo:

- *Empatizar.* Todos lograron vinculación real con las empresas.
  - 100% (11/11 equipos) realizaron entrevistas y observaciones directas.
  - 80% complementaron con mapa de empatía o chequeo digital.
  - Las evidencias destacadas han sido entrevistas a empleados, análisis de clima, chequeo digital.

- *Definir.* La mayoría logró claridad en el diagnóstico.
  - 90% (10/11 equipos) formularon un *Problem Statement* claro y fundamentado.
  - 70% usaron herramientas estructuradas como FODA o Ishikawa para precisar causas.
  - Debilidad: un equipo presentó la definición de manera descriptiva sin consolidar el enunciado formal.

- *Idear.* Gran variedad de alternativas propuestas.
  - 100% (11/11 equipos) aplicaron técnicas de creatividad (brainstorming, seis sombreros, HMW).
  - 90% complementaron con análisis estratégico (FODA, CAME, 5 porqués).
  - Hallazgo: hubo amplia generación de ideas, pero en algunos casos faltó sistematización en la priorización.

- *Prototipar.* Alto nivel de desempeño, con espacio de mejora en el grado de detalle técnico.
  - 100% (11/11 equipos) desarrollaron prototipos de solución.
  - 80% incluyeron herramientas digitales (por ejemplo: ERP, CRM, Notion, Trello, Power BI).
  - 60% elaboraron además diagramas BPM o modelos Canvas.
  - Observación: la calidad de prototipos fue heterogénea: algunos muy robustos, otros más conceptuales.

- *Testear.* El nivel de desempeño es medio-alto, ya que necesita fortalecerse la fase de testeo y la documentación del feedback.
  - 80% (8/11 equipos) utilizaron la malla receptora de información como instrumento formal de retroalimentación.
  - 20% presentaron la propuesta solo en reunión, sin instrumentar feedback estructurado.
  - Hallazgo: la validación real con la empresa fue el punto más débil en algunos equipos, limitada por la disponibilidad de tiempo y actores.

Los hallazgos indican que la incorporación del DT genera mejoras significativas en competencias como:

- Pensamiento sistémico: aumento en la capacidad de interrelacionar variables.
- Comunicación interdisciplinaria: incremento en el desempeño según autoevaluaciones y coevaluaciones.
- Creatividad aplicada a la gestión: estudiantes y profesionales reportaron mayor seguridad al proponer soluciones innovadoras.
- Competencias de análisis, creatividad y prototipado.

En líneas generales, el TPI permitió que los estudiantes comprendieran que las problemáticas organizacionales no son solo técnicas, sino también blandas y contextuales, encuadradas en entornos VUCA y BANI. Luego, al relacionarlas con el marco Cynefin, los equipos pudieron diagnosticar el tipo de problema y seleccionar estrategias diferenciales (como, por ejemplo, buenas prácticas en lo complicado, experimentación en lo complejo y acción inmediata en lo caótico). De esta manera, el TPI no solo fortaleció competencias gerenciales y sistémicas, sino que también les brindó a los futuros ingenieros un marco conceptual para navegar escenarios caracterizados por la incertidumbre, la fragilidad y la complejidad.

Como principales fortalezas se destacan la alta calidad en empatizar, idear y prototipar, donde todos los equipos se involucraron con las empresas y produjeron soluciones creativas, y la gran incorporación de herramientas digitales y gerenciales.

## Discusión

La implementación del Trabajo Práctico Integrador (TPI), basado en Design Thinking (DT), evidenció su potencial como catalizador de competencias gerenciales e ingenieriles en estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información, ya que los resultados y el análisis de la experiencia evidenció que equipos no solo aplicaron las fases clásicas del DT (empatizar, definir, idear, prototipar y testear), sino que lograron integrarlas en contextos organizacionales reales, caracterizados por incertidumbre, informalidad en procesos y resistencias al cambio.

Los equipos lograron identificar y comprender las problemáticas organizacionales, encuadradas en entornos VUCA y BANI y, al relacionarlas con el marco Cynefin, los equipos pudieron diagnosticar el tipo de problema para luego trabajar en seleccionar estrategias diferenciales: buenas prácticas en lo complicado, experimentación en lo complejo y acción inmediata en lo caótico.

El cruce de paradigmas y marcos interpretativos refuerza la idea de que la formación ingenieril requiere no solo competencias técnicas, sino también competencias blandas y gerenciales (liderazgo adaptativo, pensamiento crítico, capacidad de trabajo en equipo y mirada sistémica). Esta triangulación de marcos (VUCA, BANI y Cynefin) potencia la reflexión en los estudiantes, quienes

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aprenden a diagnosticar el tipo de problema y elegir la estrategia adecuada, más allá de la herramienta tecnológica. El DT, centrado en las personas, funcionó como un puente andragógico que vinculó teoría y práctica, universidad y empresa, generando un entorno de aprendizaje experiencial.

Dentro de las áreas de mejora, se propone trabajar en la fase *definir, para* reforzar la construcción de *Problem Statements* (delimitación) y la fase *testear para* fortalecer la validación en terreno y la sistematización del feedback.

## Conclusiones

En un entorno laboral cada vez más complejo, la formación debe trascender el conocimiento técnico y equipar al futuro profesional con habilidades para enfrentar problemas de naturaleza diversa. En ese contexto, Design Thinking se presenta como un marco centrado en el ser humano, que combina creatividad, análisis crítico y visión estratégica para la resolución de problemas complejos. Su implementación en la formación de ingenieros en sistemas de información permite articular tanto competencias técnicas como competencias gerenciales, favoreciendo la innovación, la toma de decisiones y la colaboración interdisciplinaria.

Este artículo busca demostrar cómo la aplicación del Design Thinking, enmarcada en un sólido enfoque de aprendizaje por resolución de problemas, andragogía y metodologías activas, y potenciada por la reflexión sobre las competencias gerenciales y el pensamiento sistémico, permite:

- Una identificación y definición más precisa de problemáticas organizacionales "blandas" en entornos reales.
- El diseño de soluciones innovadoras, factibles y deseables, integrando eficazmente Sistemas de Información (SI) y Tecnologías de la Información (TI), es una habilidad crucial para el trabajador 4.0.
- El fomento de la transformación digital en empresas locales, a la vez que se desarrollan capacidades de colaboración entre humanos y tecnologías, y un enfoque humano céntrico (human-centric).
- El desarrollo integral de competencias gerenciales clave (por ej. Análisis de problemas, resolución de problemas complejos, comunicación efectiva, trabajo en equipo, creatividad e innovación, liderazgo y la mirada sistémica en los futuros profesionales, preparándose de manera holística para un mercado laboral en constante evolución.
- Ofrecer un modelo educativo replicable y enriquecido para otras instituciones interesadas en la formación de competencias y la preparación para los desafíos de la Industria 4.0 y 5.0.

El "Trabajo Práctico Integrador" (TPI) de la cátedra no es solo un ejercicio académico, sino que puede ser entendido como un laboratorio de desarrollo de competencias donde, en particular, en este ciclo, los estudiantes aplicaron el Design Thinking y el pensamiento sistémico para generar valor real en las organizaciones. Los resultados de este TPI, junto con las experiencias previas de la cátedra, confirman la eficacia de este enfoque para formar profesionales capaces de liderar la transformación digital y resolver los complejos desafíos del mundo empresarial.

Este trabajo se diferencia de experiencias previas por transformar el Design Thinking utilizado como una metodología creativa a un dispositivo integral de gestión andragógica y evaluativa, combinando marcos de pensamiento complejo y herramientas concretas de validación. Asimismo, la distinción explícita de competencias gerenciales e ingenieriles a lo largo del proceso favorece la planificación curricular y la evaluación formativa. Esta integración teórico-práctica constituye una innovación replicable en otras asignaturas o instituciones, aportando un modelo de articulación entre universidad y sector productivo orientado al desarrollo de competencias profesionales para contextos BANI. Por lo mismo, entendemos que el trabajo presenta una experiencia replicable (especialmente en asignaturas gerenciales) en carreras de sistemas, donde se combina aprendizaje basado en proyectos reales y Design Thinking, alineada con tendencias educativas en ingeniería, aportando evidencias sobre el valor del DT para abordar problemas humanos y culturales en organizaciones tecnológicas.

## Agradecimientos

A cada estudiante del curso, que se ha permitido salir de su zona de confort, buscando desarrollar su criterio, creatividad e ingenio y “dejándose llevar” por las diversas actividades propuestas, siempre con respeto, responsabilidad y sentido del humor.

## Referencias

[1] Krawchuk, F. (2018). *Design Thinking: How to thrive in a VUCA world*. In R. Elkington, M. van der Steege, J. L. Glick‐Smith, & J. M. Breen (Eds.), *Exceptional leadership by design* (pp. 119–142). Emerald Publishing Limited. https://doi.org/10.1108/978-1-78743-900-920181009

[2] Vargas, C. y Romero, G. R. (2018). Aprendizaje por resolución de problemas en la cátedra de Administración Gerencial de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional. Libro de actas del TE&ET 2018. XIII Congreso Nacional de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología: 2018, pp. 263-273

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[3] Vargas, C. I. y Romero, G. R. (2022). Bitácora de experiencias para la enseñanza de competencias gerenciales en carreras de Ingeniería en Sistemas. Libro de Actas CICE 2022.

[4] Romero, G. R. y Vargas, C. I. (2023). El portfolio como herramienta para desarrollar la mirada sistémica en la formación gerencial. CoNaIISI 2023. XI Congreso Nacional de Ingeniería en Informática y Sistemas de Información. 1.ª ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecne, 2024. ISBN 978-987-8992-38-9

[5] Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking creates new alternatives for business and society*. Harper Business.

[6] Liedtka, J., King, A., & Bennett, K. (2013). *Solving problems with design thinking: Ten stories of what works*. Columbia University Press.

[7] Delgado Martínez, L. M. (2019). *Aprendizaje centrado en el estudiante, hacia un nuevo arquetipo docente*. Enseñanza & Teaching: Revista Interuniversitaria de Didáctica, 37(1), 139–154. https://doi.org/10.14201/et2019371139154

[8] Grasselli de Lima, D. (2019). *Implementación de estrategias de Aprendizaje Centrado en el Estudiante en un curso de Ingeniería*. Cuaderno de Pedagogía Universitaria, 16(32), 70–81. https://doi.org/10.29197/cpu.v16i32.347

[9] Interaction Design Foundation. (2025). *What is Design Thinking?* https://www.interaction-design.org/literature/topics/design-thinking

[10] U.S. Army War College. (1987). *Strategic leadership primer*. Carlisle Barracks, PA: U.S. Army War College.

[11] Bennis, W. G., & Nanus, B. (1985). *Leaders: The strategies for taking charge*. New York, NY: Harper & Row.

[12] Johansen, B. (2007). *Get there early: Sensing the future to compete in the present*. San Francisco, CA: Berrett-Koehler.

[13] Charlán, J. (2018, noviembre). *VUCA + H: ¿Sabes lo que significa?* ESIC Rethink. Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de https://www.esic.edu/rethink/tecnologia/vuca-h-sabes-lo-significa

[14] Cascio, J. (2020). *Facing the age of chaos*. Medium. https://medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687b1f51d

[15] Schlegelmilch, B. B. (2023). *BANI vs. VUCA: How leadership works in the world of tomorrow*. WU Executive Academy. https://executiveacademy.at/en/knowledge/leadership/bani-vs-vuca-how-leadership-works-in-the-world-of-tomorrow

[16] Murgatroyd, S. (2024). *Leadership in a VUCA | BANI world*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/380163478_Leadership_in_a_VUCA_BANI_Worl

[17] Kruse, K. (2025, February 3). *Forget VUCA: Why BANI is the new framework for today's world*. Forbes.

[18] Sofía. (2023, 10 de julio). *Diferencia entre entorno VUCA y BANI*. Integrando equipos. https://integrandoequipos.com/diferencia-entre-entorno-vuca-y-bani/

[19] Snowden, D. J., & Boone, M. E. (2007, noviembre). *A Leader's Framework for Decision Making*. *Harvard Business Review*, 85(11), 68-76. Recuperado de https://www.systemswisdom.com/sites/default/files/Snowdon-and-Boone-A-Leader%27s-Framework-for-Decision-Making_0.pdf https://www.forbes.com/sites/kevinkruse/2025/02/03/forget-vuca-bani-is-the-new-framework-world/

[20] Berné, M. (2024, 27 de marzo). *Marco de trabajo Cynefin: dominios, dinámicas y zonas liminales*. Scrum Manager. Recuperado de https://www.scrummanager.com/blog/2024/03/marco-cynefin-dinamicas-y-zonas-liminales/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Desarrollo de competencias en Ingeniería en Informática mediante la articulación horizontal entre requisitos y programación web

*Carola Victoria Flores[1] – Cecilia Elizabeth Gallardo[1] – Erika Evelia Lobo[1], Marta del Valle Miranda[1]*
*Departamento Informática. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca*
carolaflores@tecno.unca.edu.ar, ceciliagallardo@tecno.unca.edu.ar, erikalobo@tecno.unca.edu.ar , mvmiranda@tecno.unca.edu.ar

## Resumen

*El desarrollo de software exitoso depende de la articulación efectiva entre la ingeniería de requisitos y la programación, que permita a los estudiantes el desarrollo de competencias. Este trabajo presenta una estrategia de articulación horizontal diseñada para la Carrera de Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCA, con el fin de fortalecer el desarrollo de competencias definidas por el Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI). La metodología didáctica central es el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPy), donde los estudiantes, organizados en equipos, trabajan en un único proyecto que integra la especificación de requisitos y el modelado de análisis (asignatura de Ingeniería de Software I) con la implementación de una aplicación web funcional (asignatura de Programación III). Esta propuesta no solo busca minimizar los vacíos de conocimiento entre la teoría y la práctica, sino que también fomenta el desarrollo de competencias transversales esenciales como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo y la resolución de problemas. La implementación de esta metodología ha demostrado ser un enfoque eficaz para el aprendizaje significativo, preparando a los futuros ingenieros para los desafíos complejos del entorno profesional.*

## 1. Introducción

En el dinámico campo de la Ingeniería en Informática, la formación profesional exige la integración de conocimientos y habilidades de diversas áreas para afrontar problemas complejos del mundo real. La articulación de contenidos, como estrategia didáctica central, emerge como un proceso clave para superar la visión tradicional de asignaturas aisladas y fomentar un aprendizaje holístico. Este enfoque, centrado en la articulación horizontal, busca la coordinación planificada de contenidos y metodologías en asignaturas que se cursan de manera simultánea, permitiendo que los estudiantes construyan un conocimiento significativo al conectar la teoría con la práctica de forma directa y fluida.

El presente trabajo expone la implementación de una estrategia de articulación entre las asignaturas Ingeniería de Software I (ISI) y Programación III (PIII) de la Carrera Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. A través del aprendizaje basado en proyectos, se busca que los estudiantes apliquen los principios de la especificación de requisitos y el modelado de análisis (ISI) para desarrollar una aplicación web funcional (PIII). Esta metodología no solo fortalece la comprensión de conceptos técnicos, sino que también fomenta el desarrollo de competencias transversales esenciales, como el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la comunicación efectiva, preparando a los futuros ingenieros para los desafíos del entorno profesional.

## 2. Marco Teórico

### Competencias

Las competencias en las carreras de ingeniería en Argentina han sido un enfoque clave del CONFEDI que viene trabajando en el tema desde el año 2000. En este sentido, CONFEDI [1] define competencia como "…la capacidad de combinar eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar distintos saberes en un contexto específico para solucionar situaciones profesionales". En esa obra se establecieron competencias genéricas de egreso para los ingenieros, distinguiendo entre competencias tecnológicas y sociales, políticas y actitudinales, las cuales deben ser desarrolladas a lo largo de toda la trayectoria académica en ingeniería.

Estas competencias se pueden ver en la Tabla 1 [1].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 1. Competencias definidas por CONFEDI**

| COMPETENCIAS | |
|---|---|
| **Tecnológicas** | **Sociales, políticas y actitudinales** |
| 1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.<br>2. Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.<br>3. Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería.<br>4. Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.<br>5. Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas. | 6. Desempeñar actividades de manera efectiva en equipos de trabajo.<br>7. Comunicar con efectividad.<br>8. Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.<br>9. Aprender en forma continua y autónoma.<br>10. Actuar con espíritu emprendedor. |

Posteriormente, CONFEDI publica el denominado "Libro Rojo", "Estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería de la República Argentina", donde para las carreras de ingeniería dictadas en el país, enuncia las competencias específicas de cada título, relacionadas a su vez con las actividades reservadas y los descriptores de conocimiento [2].

Las actividades reservadas y competencias específicas definidas en el libro Rojo de CONDEFI se pueden observar en la Tabla 2 [2].

**Tabla 2. Actividades reservadas y competencias específicas definidas por CONFEDI para Ingeniero en Sistemas de Información / Informático**

| Actividad reservada | Competencia específica |
|---|---|
| 1. Especificar, proyectar y desarrollar sistemas de información, sistemas de comunicación de datos y software cuya utilización pueda afectar la seguridad, salud, bienes o derechos. | 1.1. Especificar, proyectar y desarrollar sistemas de información. |
| | 1.2. Especificar, proyectar y desarrollar sistemas de comunicación de datos. |
| | 1.3. Especificar, proyectar y desarrollar software |
| 2. Proyectar y dirigir lo referido a seguridad informática | 2.1. Proyectar y dirigir lo referido a seguridad informática |
| 3. Establecer métricas y normas de calidad de software | 3.1. Establecer métricas y normas de calidad de software. |
| 4. Certificar el funcionamiento, condición de uso o estado de lo mencionado anteriormente. | 4.1. Certificar el funcionamiento, condición de uso o estado de sistemas de información, sistemas de comunicación de datos, software, seguridad informática y calidad de software. |
| 5. Dirigir y controlar la implementación, operación y mantenimiento de lo anteriormente mencionado. | 5.1. Dirigir y controlar la implementación, operación y mantenimiento de sistemas de información, sistemas de comunicación de datos, software, seguridad informática y calidad de software. |

## Articulación

La definición académica precisa de articulación curricular, se entiende como un proceso constructivo y dinámico que consiste en establecer vínculos significativos, coordinados y coherentes entre las diferentes asignaturas, áreas, niveles y etapas del sistema educativo para garantizar una formación integral y continua. La articulación curricular no es solo la unión de contenidos, sino un marco referencial que permite articular contenidos, metodologías y prácticas pedagógicas desde una visión holística, promoviendo la integración de saberes y el desarrollo de competencias específicas, manteniendo la identidad disciplinar y facilitando la comprensión y aplicación práctica del conocimiento [3].

En el contexto educativo, la articulación se concibe como la existencia de dispositivos mediadores que garantizan la función armónica y eficiente del sistema educativo mediante la coordinación de las distintas partes (asignaturas, niveles, docentes, etc.). Es un proceso que requiere consenso, trabajo conjunto y participación activa para que los estudiantes logren construir un pensamiento integral y vinculen los conocimientos contenidos con la realidad y sus contextos sociales e institucionales [4].

El concepto de articulación es fundamental en la pedagogía para asegurar que el aprendizaje sea un proceso coherente y acumulativo. Existen dos tipos principales de articulación:

- La articulación vertical se refiere a la conexión lógica y secuencial de contenidos entre asignaturas que se cursan en diferentes años o niveles del plan de estudios. Su objetivo es asegurar que los conocimientos previos sean la base para los conocimientos futuros, evitando repeticiones innecesarias o vacíos en el aprendizaje.
- Articulación horizontal: es la coordinación y sincronización de contenidos, metodologías y actividades entre asignaturas que se cursan simultáneamente en el mismo período académico. Esta estrategia busca que los estudiantes no vean las materias como islas, sino como partes interconectadas de un mismo ecosistema de conocimiento.

Este enfoque es crucial en la carrera de Ingeniería en Informática, donde se busca integrar conceptos diversos como ciencias básicas, tecnologías aplicadas y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



metodologías de software en una secuencia coherente y aplicada a la práctica profesional.

### La articulación horizontal como estrategia didáctica

Ver la articulación como una estrategia didáctica significa ir más allá de una simple conexión curricular. Esta estrategia busca vincular temáticas que se complementan o dependen entre sí para fortalecer el aprendizaje significativo y facilitar que los estudiantes integren conocimientos desde diversas perspectivas en un mismo momento formativo [5].

La articulación, como estrategia didáctica, implica un diseño pedagógico consciente que busca el aprendizaje profundo y el desarrollo de competencias, lográndose al potenciarla con metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos. Para que esta estrategia funcione, es fundamental el trabajo colaborativo entre docentes, quienes deben definir en conjunto los resultados de aprendizaje y las actividades para que los estudiantes integren los conocimientos de manera práctica. Finalmente, esta integración beneficia al estudiante al permitirle construir un conocimiento holístico, donde la teoría y la práctica se refuerzan, mejorando así la motivación y la retención del aprendizaje a largo plazo.

### Metodología activa: Aprendizaje basado en proyectos

Las metodologías activas representan un cambio de paradigma en la educación, pasando del modelo centrado en el docente, a uno centrado en el estudiante que es el enfoque principal planteado por CONFEDI para el desarrollo de competencias. Su objetivo principal es que el estudiante se convierta en el protagonista de su propio aprendizaje, construyendo conocimiento a través de la experiencia y la interacción [6].

El ABPy es una estrategia pedagógica en la que los estudiantes trabajan en un proyecto durante un período prolongado de tiempo para investigar, diseñar y construir una solución a un problema, pregunta o desafío complejo. A diferencia de las metodologías tradicionales, donde el estudiante es un receptor pasivo, en el ABPy se convierte en el protagonista activo de su propio aprendizaje.

En la educación superior, y en particular en áreas como la ingeniería, el ABPy es valorado porque desarrolla competencias cruciales para el ámbito profesional:

- Pensamiento crítico: los estudiantes deben analizar el problema y proponer soluciones innovadoras.
- Colaboración: el trabajo en equipo es fundamental para el éxito del proyecto.
- Creatividad e innovación: los proyectos suelen requerir la generación de ideas y la búsqueda de enfoques novedosos.
- Autonomía y gestión del tiempo: Los estudiantes deben planificar y ejecutar el proyecto de forma independiente, bajo la guía del docente.

Implementar el ABPy requiere una planificación cuidadosa y el uso de diversas estrategias que faciliten la participación activa de los estudiantes. A continuación, se presentan las fases de aprendizaje basados en proyectos generales orientadas a la articulación que se realizará [7] [8].

1. Fase de definición del problema y del producto: selección del problema guía que sea relevante y motivador que despierte el interés de los estudiantes. Se debe establecer claramente qué producto o resultado se espera al final del proyecto. Este puede ser un informe, una presentación, un video, etc.
2. Fase de organización: esta fase ayuda a planificar las actividades de enseñanza y aprendizaje
3. Fase elaboración del producto: los estudiantes aplican lo aprendido para crear el producto final que responde al reto planteado. Se les debe animar a ser creativos en su presentación.
4. Fase de reflexión colectiva y evaluación: después de las presentaciones, se debe realizar una reflexión grupal sobre lo aprendido durante el proyecto, esto ayuda a consolidar el aprendizaje. Se evalúa el trabajo realizado usando distintos instrumentos.

## 3. Contexto de la Articulación

La carrera de Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, creada bajo el Plan de Estudios 2011, tiene una duración de cinco años y una carga horaria total de 3.910 horas. Su diseño curricular integra áreas de Ciencias Básicas, Tecnologías Básicas, Tecnologías Aplicadas y Complementarias, además de una Práctica Profesional Supervisada y un Proyecto Final de Carrera. El perfil de egreso enfatiza la capacidad para planificar, dirigir y ejecutar proyectos de software y sistemas de información, con competencias en diseño, desarrollo, gestión y aseguramiento de la calidad de productos informáticos, siguiendo criterios éticos y de responsabilidad social.

En el tercer año del plan se ubican las asignaturas Ingeniería de Software I y Programación III, que constituyen el eje de la experiencia de articulación horizontal, la Figura 1 muestra las asignaturas correlativas anteriores y posteriores.

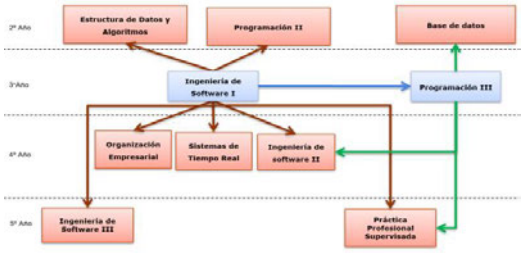



**Figura 1. Ubicación de las asignaturas en el Plan de estudios**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Ingeniería de Software I (ISI) (90 horas, segundo cuatrimestre) corresponde al área de Tecnologías Aplicadas. Su propósito es que el estudiante desarrolle la competencia de especificar, proyectar y desarrollar software, en línea con lo establecido por el CONFEDI. La materia aborda el ciclo de vida del software, la ingeniería de requerimientos y el modelado de análisis. El objetivo es que los estudiantes trabajen en la identificación y documentación de requisitos y en la construcción de modelos de análisis orientados a objetos, utilizando estándares internacionales y herramientas CASE.
- Programación III (PIII) (105 horas, segundo cuatrimestre) pertenece al área de Tecnologías Básicas. Su objetivo es que el estudiante adquiera los conocimientos y capacidades necesarias para desarrollar aplicaciones web aplicando tecnologías actuales. El programa enfatiza la implementación de arquitecturas cliente-servidor, acceso a bases de datos, seguridad web y uso de buenas prácticas de desarrollo. La actividad práctica se centra en un trabajo integrador de laboratorio, que consiste en la construcción progresiva de una aplicación web a partir de un caso de estudio.

La coincidencia temporal de ambas asignaturas en el plan de estudios y la complementariedad de sus objetivos favorecen la estrategia de articulación horizontal. A través de un caso de estudio común, los estudiantes transitan las fases iniciales del proceso de desarrollo de software en Ingeniería de Software I, desde el relevamiento hasta el modelado de requisitos, para implementar en Programación III dichos modelos en una aplicación web funcional. Este dispositivo pedagógico permite simular el ciclo de vida de un proyecto real, integrando teoría y práctica, y fortaleciendo competencias profesionales clave.

## 4. Metodología Utilizada para la Articulación

Para llevar a cabo la articulación entre cátedras se realizaron las siguientes actividades o fases:

1. Identificación de contenidos y competencias a desarrollar.
2. Definición de forma de trabajo.
3. Desarrollo de la articulación.
4. Puesta en común, reflexión y mejora continua.

### Fase 1: Identificación de contenidos y competencias

Antes de iniciar cualquier actividad de articulación, es fundamental establecer una base sólida que garantice la coherencia y el propósito del proyecto. Esta fase inicial consiste en un análisis detallado de los programas de las asignaturas involucradas para identificar los contenidos y las competencias que se complementan entre sí. Al definir los puntos de encuentro entre las asignaturas, se asegura que el proyecto no sea una simple suma de tareas, sino una experiencia de aprendizaje integrada que fomente el desarrollo de habilidades clave en los estudiantes, alineadas con el perfil de egreso de la carrera.

**Contenidos**

Para llevar a cabo la articulación se identifican contenidos que aportan al desarrollo del proyecto.

- En la asignatura ISI se definen los siguientes contenidos: Requisitos funcionales y no funcionales y su especificación con el estándar ISO/IEC/IEEE 29148/2018 [9]. Modelo de análisis con diagramas de casos de uso y clases.
- La asignatura PIII se enfoca en la aplicación de distintos estándares y tecnologías (HTML, CSS, JavaScript, Tecnología en el Servidor) para desarrollar una aplicación web completamente funcional que brinda una solución a un caso de estudio dado.

**Competencias que se buscan desarrollar**

En ambas asignaturas la competencia específica para el ingeniero en informática a la cual se aporta es “1.3. Especificar, proyectar y desarrollar software”, para lo cual se busca desarrollar las siguientes competencias de egreso que se pueden apreciar en la Tabla 2 y 3.

**Tabla 2. Competencias tecnológicas a desarrollar con la articulación**

| COMPETENCIAS TECNOLÓGICAS | |
|---|---|
| Competencia | Capacidades |
| 1. Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería. | 1.a. Capacidad para identificar y formular problemas.<br>1.d. Capacidad para controlar y evaluar los propios enfoques y estrategias para abordar eficazmente la resolución de los problemas. |
| 2. Competencia para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos) | 2.a. Capacidad para concebir soluciones tecnológicas.<br>2.b. Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería. |
| 4. Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de la ingeniería. | 4.a. Capacidad para identificar y seleccionar las técnicas y herramientas disponibles. |

**Tabla 3. Competencias sociales políticas y actitudinales a desarrollar con la articulación**

| COMPETENCIAS SOCIALES, POLÍTICAS Y ACTITUDINALES | |
|---|---|
| Competencia | Capacidades |
| 6. Competencia para desempeñarse de manera | 6.a. Capacidad para identificar las metas y responsabilidades |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | |
|---|---|
| efectiva en equipos de trabajo. | individuales y colectivas y actuar de acuerdo a ellas. |
| 7. Competencia para comunicarse con efectividad | 7.b. Capacidad para producir e interpretar textos técnicos (memorias, informes, etc.) y presentaciones públicas. |
| 9. Competencia para aprender en forma continua y autónoma. | 9.b. Capacidad para lograr autonomía en el aprendizaje. |

## Fase 2: Definición de la forma de trabajo

Una vez identificados los contenidos y competencias, la siguiente fase crítica es establecer el marco operativo y las herramientas pedagógicas que guiarán el proyecto de articulación. Esta etapa se centra en definir cómo se organizarán los estudiantes, qué metodología de enseñanza y aprendizaje se utilizará, y cómo se planificarán las actividades para garantizar la coherencia y la integración entre las asignaturas.

- Organización: Para fomentar la colaboración y el aprendizaje autónomo, se optó por un enfoque basado en el trabajo en equipos pequeños. Esta estrategia no solo facilita la gestión del proyecto, sino que también promueve la diversidad de habilidades y perspectivas entre los estudiantes. Los equipos, formados por hasta tres integrantes, se convierten en la unidad de trabajo fundamental, donde cada miembro puede asumir roles específicos que simulan un entorno profesional real, fortaleciendo así la colaboración y la responsabilidad individual.
- Metodología de enseñanza y aprendizaje: para abordar la articulación se eligió el ABPy, la metodología activa más adecuada para este propósito. El proyecto, que consiste en el desarrollo de una aplicación web, sirve como el hilo conductor que conecta directamente los conocimientos de ambas asignaturas.

La aplicación del ABPy en el contexto de la articulación se estructura en dos pasos clave de planificación: primero, se presenta a los estudiantes un problema guía y la definición del producto, un desafío lo suficientemente completo como para requerir una solución que abarque ambas asignaturas; segundo, los docentes se encargan del diseño y la organización de la actividad, planificando las entregas, los plazos y los criterios de evaluación para asegurar que el desarrollo del proyecto sea un proceso claro y gestionable para los estudiantes.

Las tablas 4 y 5 presentan las actividades que favorecen el desarrollo de las competencias según las capacidades:

**Tabla 4. Actividades que desarrollan Competencias Tecnológicas**

| **1. Competencia para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.** | |
|---|---|
| Capacidades | Asignatura/Actividad |
| 1.a. Capacidad para identificar y formular problemas. | ● **IS1**: Identificar requisitos de software y documentarlos según estándar IEEE 29148/2018 2da edición.<br>Artefactos entregables: documento de Especificación de Requisitos de Software (ERS) con: Modelo estructural del dominio con diagramas de clases. Modelo funcional con Diagrama de casos de uso. Modelo de comportamiento con Diagramas de secuencia. |
| **1.a.2.** Ser capaz de identificar y organizar los datos pertinentes al problema.<br>**1.a.3.** Ser capaz de evaluar el contexto particular e incluirlo en el análisis.<br>**1.a.4.** Ser capaz de delimitar el problema y formularlo de manera clara y precisa. | ● **P3**: Refinamiento del relevamiento del dominio y análisis de los datos del problema. Creación de proyecto Django y construcción de la capa del Modelo.<br>Artefactos entregables: Documento de ERS refinado. Repositorio GIT conteniendo el proyecto Django. |
| **1.d.** Capacidad para controlar y evaluar los propios enfoques y estrategias para abordar eficazmente la resolución de los problemas.<br>**1.d.1.** Ser capaz de controlar el propio desempeño y saber cómo encontrar los recursos necesarios para superar dificultades. | ● **IS1**: instancias de tutoría donde las docentes guían la reflexión sobre el proceso de desarrollos de los Trabajos Prácticos (TP) con retroalimentación iterativa y comentarios.<br>● **P3**: retroalimentación iterativa entre entregas al docente; registro de issues/incidentes y ajuste del plan ante problemas detectados. |
| **2. Competencia para concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería (sistemas, componentes, productos o procesos)** | |
| Capacidades | Asignatura/Actividad |
| **2.a.** Capacidad para concebir soluciones tecnológicas.<br>**2.a.2.** Ser capaz de seleccionar las tecnologías apropiadas.<br>**2.b.** Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.<br>**2.b.2.** Ser capaz de especificar las características técnicas del objeto del proyecto, de acuerdo a las normas correspondientes. | ● **IS1**: para concebir la solución tecnológica del problema guía, los equipos realizan una sesión guiada de ideación para definir el propósito del sistema, los actores involucrados, los procesos críticos y las restricciones tecnológicas. Se documenta en la ERS.<br>● **P3:** transformación del relevamiento del caso de estudio en entidades/atributos; vistas con la lógica del negocio; elección fundada de herramientas del stack de desarrollo del curso; documentación de decisiones técnicas y justificación del diseño.<br>Selección de patrones/técnicas (validaciones, filtros); construcción de prototipo funcional; ajustes sobre pruebas de uso. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| **4. Competencia para utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de la ingeniería.** | |
|---|---|
| Capacidades | Asignatura/Actividad |
| **4.a**. Capacidad para identificar y seleccionar las técnicas y herramientas disponibles.<br><br>**4.a.1.** Ser capaz de acceder a las fuentes de información relativas a las técnicas y herramientas y de comprender las especificaciones de las mismas. | ● **IS1**: Selección de herramienta CASE para realizar modelos de análisis: se sugiere Ideas modeler pero los estudiantes pueden elegir otras, para gestionar las tareas en equipo Trello. Consulta a instructivos generados por los docentes y documentación oficial de las herramientas, para el uso y configuración. Consulta e interpretación del estándar IEEE 29148/2018 2da edición y de la especificación de Unified Modeling Language(OMG UML) Versión 2.5.1 de diciembre de 2017.<br>● **P3**: consulta de documentación oficial para configurar y usar herramientas del curso (framework, ORM, generadores de reportes, control de versiones); selección fundada de librerías/procedimientos según restricciones del caso. |

**Tabla 5. Actividades que desarrollan Competencias sociales políticas y actitudinales**

| **6. Competencia para desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.** | |
|---|---|
| Capacidades | Asignatura/Actividad |
| **6.a.** Capacidad para identificar las metas y responsabilidades individuales y colectivas y actuar de acuerdo a ellas.<br>**6.a.3.** Ser capaz de respetar los compromisos (tareas y plazos) contraídos con el grupo y mantener la confidencialidad. | ● **IS1**: los miembros del equipo asignan tareas y responsabilidades de la construcción de elementos de artefactos indicando plazos en el Trello. Para seguimiento de desarrollo de los TP de forma colaborativa comparten el informe en Google Docs, y se realiza revisión de historial de versiones.<br>● **P3**: definición de objetivos/alcance por equipo; acuerdo de metodología de trabajo (ramas/commits, issues en repositorio GIT); cumplimiento de tareas y fechas de entrega. |
| **7. Competencia para comunicarse con efectividad** | |
| Capacidades | Asignatura/Actividad |
| **7.b**. Capacidad para producir e interpretar textos técnicos y presentaciones públicas.<br><br>**7.b.1.** Ser capaz de expresarse de manera concisa, clara y precisa tanto en forma oral como escrita.<br><br>**7.b.3**. Ser capaz de producir textos técnicos (descriptivos, argumentativos y explicativos), rigurosos y convincentes.<br><br>**7.b.5.** Ser capaz de manejar las herramientas informáticas apropiadas para la elaboración de informes y presentaciones. | ● **IS1**: expresarse de forma escrita presentando informes de los TP. Expresarse de forma oral realizando presentación y defensa oral al final del trayecto formativo de la asignatura que integra todos los TP. Manejo de herramienta informáticas colaborativas Google Docs para los informes y herramientas para presentaciones como canva y PowerPoint.<br>● **P3**: exposición y defensa oral del proyecto final integrador, comunicando de forma clara el proceso de desarrollo y los resultados obtenidos. |
| **9. Competencia para aprender en forma continua y autónoma.** | |
| Capacidades | Asignatura/Actividad |
| 9.b. Capacidad para lograr autonomía en el aprendizaje.<br><br>9.b.6. Ser capaz de hacer una búsqueda bibliográfica por medios diversos | ● **IS1**: durante el cursado se solicitan actividades asincrónicas en el aula virtual Moodle con lecciones, las cuales integran preguntas de evaluación auténtica.<br>● **P3**: consulta activa de documentación y fuentes actualizadas; incorporación de prácticas/recursos no vistos previamente en clase cuando el problema lo requiere. |

### Fase 3: Desarrollo de la articulación

Para el desarrollo de software se usa un marco de trabajo ágil, ya que se van realizando tareas de especificación de requisitos e implementación de código que sirve de ajuste para la ingeniería de requisitos.

Los estudiantes aplican lo aprendido para crear el producto final que responde al reto planteado. Cada asignatura define sus criterios e instrumentos de evaluación que se aplican a los distintos artefactos obtenidos en el desarrollo del proyecto.

Una vez finalizado el producto, se entregan los artefactos solicitados por las asignaturas y los estudiantes realizan la presentación y defensa de lo realizado. En esta instancia, los equipos de estudiantes presentan sus proyectos finales, defienden las decisiones tomadas durante el desarrollo y, a través de la reflexión colectiva, consolidan el aprendizaje adquirido.

### Fase 4: Puesta en común, reflexión y mejora continua

Esta fase es el momento clave para consolidar el aprendizaje, evaluar la eficacia de la articulación y recopilar información valiosa para futuros proyectos. Se divide en tres componentes principales:

1. Evaluación de los resultados y el proceso: la evaluación se centra tanto en el producto final (la aplicación web)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



como en el proceso de trabajo (la documentación de requisitos, el modelo de análisis). Las profesoras proporcionan retroalimentación detallada y constructiva, destacando los aciertos y las áreas de oportunidad.

2. Recolección de la opinión de los estudiantes: este punto es clave y se realiza con entrevista a los equipos de trabajo. Queda pendiente formalizar un proceso para obtener el feedback de los estudiantes sobre la articulación. Para este año hemos considerado realizar encuestas anónimas con preguntas específicas sobre la utilidad de la articulación, la coherencia entre las asignaturas, los desafíos enfrentados y el valor de las competencias desarrolladas.
3. Análisis y mejora continua: con toda la información recolectada, los docentes se reúnen para reflexionar sobre los resultados. El objetivo es identificar qué funcionó bien y qué se puede mejorar. Las preguntas guía son: ¿Se lograron las competencias deseadas?, ¿Qué partes del proyecto resultaron más desafiantes para los estudiantes? y ¿Cómo podemos optimizar la coordinación entre las asignaturas para el próximo ciclo?.

## 5. Resultados Obtenidos y Análisis de la Articulación

La articulación entre las asignaturas Ingeniería de Software I y Programación III se implementó por primera vez en el año 2024. Tras una serie de reuniones de planificación, las profesoras de ambas cátedras definieron un problema guía común: el desarrollo de un sistema web para una panadería. En este primer ciclo, participaron 18 estudiantes de ISI y 23 de PIII, logrando completar las actividades de articulación.

Los estudiantes lograron aplicar sus conocimientos de ISI para crear una especificación de requisitos de software, siguiendo el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018, que sirvió como base para la implementación de un producto con funcionalidades básicas en PIII. Este resultado tangible demostró que la articulación fue exitosa al unir la teoría con la práctica y validar la coherencia entre ambas asignaturas.

El principal desafío identificado en la articulación fue la asincronía entre los estudiantes que cursaban ambas asignaturas simultáneamente y aquellos que no. En estos casos, para mantener la continuidad del trabajo, los estudiantes se agruparon libremente y compartieron la especificación de requisitos creada por otros equipos que se encontraban cursando ambas asignaturas. La decisión de integrar a los estudiantes asincrónicos en equipos preexistentes generó una desconexión en el proceso de aprendizaje colaborativo, ya que no participaron desde las etapas iniciales de análisis de requisitos.

Para el próximo ciclo, se ha planificado una encuesta específica sobre la actividad de articulación, con el objetivo de recopilar la opinión de los estudiantes, detectar dificultades recurrentes y vacíos en la articulación, y así implementar mejoras que fortalezcan la articulación.

## Conclusiones

La formación de ingenieros trasciende la simple adquisición de conocimientos técnicos. Las carreras de ingeniería, impulsadas por organismos como el CONFEDI, se centran en el desarrollo de competencias de egreso que preparan a los futuros profesionales para afrontar la complejidad del mundo laboral. Esto implica un enfoque en habilidades interdisciplinares, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el trabajo en equipo. Adoptar este modelo educativo es crucial para garantizar que los egresados no solo dominen su área, sino que también sean capaces de innovar, liderar y responder a los desafíos sociales y tecnológicos con una perspectiva ética y responsable

La implementación de la estrategia de articulación horizontal, centrada en el aprendizaje basado en proyectos, ha demostrado ser un enfoque pedagógico robusto y eficaz para la formación de competencias en Ingeniería en Informática.

Al sincronizar las asignaturas de Ingeniería de Software I y Programación III, no solo se logró integrar los conocimientos teóricos de la especificación de requisitos con la práctica de la programación web, sino que se impulsó de forma directa el desarrollo de competencias esenciales para el perfil profesional del ingeniero. A través de este enfoque, los estudiantes pudieron fortalecer habilidades clave como el pensamiento crítico para la resolución de problemas, el trabajo en equipo, y la capacidad de comunicación técnica tanto escrita como oral, que son vitales para enfrentar los desafíos del entorno profesional.

Si bien se identificaron áreas de mejora, como la asincronía de los estudiantes, la metodología propuesta establece una base sólida para el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias tecnológicas, sociales políticas y actitudinales. El proceso de mejora continua, alimentado por la reflexión docente y la retroalimentación de los estudiantes, permitirá perfeccionar la articulación y consolidarla como un pilar fundamental en la formación de futuros ingenieros.

El marco de trabajo de articulación horizontal a través de ABPy puede ser replicado en cualquier contexto educativo donde exista una necesidad de conectar dos o más asignaturas que se complementen. La clave no está en la tecnología, sino en la lógica pedagógica detrás del proceso.

## 6. Referencias

[1] Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI), Competencias en ingeniería: competencias genericas de egreso del ingeniero

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



argentino (1era edición ed.)., Buenos Aires: Universidad de FASTA Ediciones, 2014.

[2] Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI), Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina "Libro Rojo de CONFEDI", Rosario, 2018.

[3] V. A. Costa y L. S. Del Río, «La articulación en la enseñanza,» *I Jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública: Transformaciones actuales y desafíos para los procesos de formación,* abril 2016.

[4] I.S.F.D. N° 9, «Articulación curricular,» 2017. [En línea]. Available: https://ifd9-sgo.infd.edu.ar/sitio/documentos-2/upload/Articulacion_curricular.pdf.

[5] E. F. Dattilo, M. Fernández y F. Trejo Ponce, «La gestión curricular por el enfoque de competencias,» de *Congreso Argentino y Latinoamericano de Ingeniería*, 2021.

[6] S. Y. Caballero Meneses, E. S. Vergara Causo, V. Gardi Melgarejo y J. R. Rodriguez-Barboza, «Metodologías activas en la educación latinoamericana: una revisión sistemática sobre su impacto en el aprendizaje significativo,» 17 julio 2025. [En línea]. Available: https://zenodo.org/records/16076292.

[7] J. García Martín y J. E. Pérez Martín, «Aprendizaje basado en proyectos: método para el diseño de actividades,» *Revista Tecnología, Ciencia y Educación,* nº 10, pp. 37-63, 2018.

[8] UNIR: La universidad en internet, «Que es el aprendizaje basado en proyectos,» 26 febrero 2025. [En línea]. Available: https://colombia.unir.net/actualidad-unir/aprendizaje-basado-proyectos/. [Último acceso: 2025].

[9] International Organization for Standardization, ISO/IEC/IEEE 29148:2018 Sistemas y ingeniería de software - Procesos de ciclo de vida - Ingeniería de requisitos, International Organization for Standardization, 2018.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# El rol de las materias electivas en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información en la UTN - FRT: análisis del origen, distribución y permanencia (2008–2022)

*Ana Sol Liedro[(1)] - Pedro Bernabé Araujo[(2)(*)]*
*[(1)]Departamento de Ingeniería Mecánica*
*[(2)]Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información*
*Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán*
*anasolliendro@doc.frt.utn.edu.ar - pedro.araujo@frt.utn.edu.ar*

## Resumen

*Este trabajo analiza la creación, distribución y permanencia de las materias electivas en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información en la Facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional, en el período 2008–2022. A través de un estudio documental de normativas, planes de estudio y registros académicos, se examina cómo estas asignaturas contribuyen a la flexibilidad curricular, atendiendo a necesidades regionales y actualizaciones tecnológicas. Se concluye que las electivas constituyen un eje estratégico para la pertinencia del currículo, aunque presentan desafíos en cuanto a criterios de creación, equilibrio entre áreas y mecanismos de actualización.*

## Introducción

La UTN tiene un origen particular como universidad destinada a la clase trabajadora. Fue creada en 1948 como "Universidad Obrera Nacional" (UON) [10] durante el gobierno peronista, con el objetivo de formar capital humano como "Ingenieros de Fábrica", con orientación estrecha a la actividad fabril, para apoyar a la creciente industrialización nacional de ese entonces. Con los objetivos mencionados en mente, en 1953 se aprobaron planes de estudio con una sólida formación técnico-científica y una visión integral, incluyendo aspectos sociales y económicos.

Tras el golpe militar de 1955, la UON queda en un estado de vulnerabilidad institucional. Sin embargo, la calidad de sus egresados, y su creciente matrícula, impulsaron a los estudiantes, los docentes e incluso a los propios padres a manifestarse, realizar huelgas y hacer comunicados a favor de su continuidad. Como resultado -en 1959- la Ley N° 14.855 cambia de nombre a "Universidad Tecnológica Nacional" (UTN) manteniendo su carácter federal y tecnológico pero con cambios de la personería jurídica a propia, autonomía académica y administrativa, régimen autárquico de gestión y financiamiento, como así también extender el perfil estrictamente obrero a la sociedad en general. [11]

La UTN es la única universidad pública nacional de la Argentina cuya estructura académica de grado tiene a las ingenierías como objetivo prioritario. Su carácter federal le otorga presencia en todas las principales regionales del país a través de sus 30 facultades regionales. Entre sus ofertas académicas es posible encontrar desde las carreras clásicas hasta aquellas que representan la última tendencia, de las que podemos mencionar se encuentran: Ingeniería Civil, Electrónica, Eléctrica, Mecánica, Aeronáutica e Ingeniería en Sistemas de Información, entre otras.

De todas las ingenierías, haremos énfasis en la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. Esta fue creada a mediados de los 70' a dictarse en la regional de Buenos Aires. Sin embargo, su puesta en funcionamiento se ve truncada debido al golpe de estado de marzo de 1976 dado que las universidades fueron intervenidas por parte del gobierno de facto [17-18] . Con el advenimiento de la democracia para finales de 1983, se inicia el proceso de transición democrática y de normalización universitaria. Un año después, la UTN sanciona nuevamente la creación de la carrera "Ingeniería en Sistemas de Información" [19], reafirmando los principios fundacionales establecidos por la Ley N° 14.855.

Al día de hoy, la estructura curricular de la carrera tiene un formato organizado por asignaturas y por año lectivo. Las asignaturas son de naturaleza obligatoria o electiva, y se distribuyen en seis áreas que permiten reordenar las cátedras en campos del saber, las cuales se encuentran repartidas a lo largo de cinco niveles. Cada nivel comprende 32 semanas, divididas en dos semestres. En particular, las materias electivas, además de estar dentro de un área, también deben pertenecer a un grupo de aplicación.

La inclusión de materias electivas en los planes de estudio universitarios constituye una herramienta clave para garantizar la flexibilidad curricular y la adaptación a demandas sociales, tecnológicas y regionales. En la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), estas asignaturas adquieren relevancia en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, dado su carácter estratégico

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en el campo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación.

En el caso particular de la FRT se desarrollan cinco carreras, cuatro maestrías y numerosas especializaciones y carreras de pregrado, en las cuales cursan algo más de 13.000 alumnos activos aproximadamente. Es por este y otros motivos que es necesario contar con currículas actualizadas que den respuesta a las crecientes demandas de la industria y la sociedad.

Para el análisis de las asignaturas electivas del Plan de Estudios 2008 (vigente en el período 2008-2022), se considerarán dos ordenanzas claves:

Ordenanza Nº 808: estableció los lineamientos iniciales para la creación de electivas.

Ordenanza Nº 1383: derogó la Ordenanza Nº 808. Este documento buscó subsanar las deficiencias de su predecesora al incorporar nuevos conceptos de validez, carga horaria y tiempos de presentación.

Al estudiar estos documentos surgen interrogantes sobre la gestión de las electivas en el entorno de la UTN, particularmente en el ámbito de la FRT.

Tomando las mencionadas ordenanzas surge la siguiente pregunta central: ¿cuáles son las causas de creación, distribución y permanencia de las materias electivas de la carrera entre 2008 y 2022?

## Marco Teórico

La noción de currículo flexible se encuentra ampliamente discutida en la literatura [4-5]. Los estudios previos de las asignaturas electivas en el ámbito de la UTN coinciden en que las mismas actúan como nexo entre universidad y sociedad. Para Granado Peralta et al. [9] estas asignaturas otorgan flexibilidad al currículo permitiendo a los estudiantes adaptar su formación a las demandas del mercado laboral, tanto a nivel global como regional. De manera similar, Ísola et al. [1] concluye que las electivas son cruciales para mantener los currículos actualizados permitiendo a los graduados -según relevamiento y encuestas- insertarse en el mundo profesional al responder a las necesidades tecnológicas y regionales.

Para comprender este proceso, se analizó el carácter histórico y escrito del currículo de Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN-FRT [3-8]. Desde su creación, la carrera contó con un plan de estudios de seis años, conformado por asignaturas, régimen de correlatividades, carga horaria semanal y un programa sintético de cada asignatura. Asimismo, las asignaturas electivas se clasificaron en dos categorías: “Aplicaciones Especiales” e “Informática Aplicada”. [19] Cuatro años más tarde, en la Jornada Nacional de Discusión Académica de la UTN, los participantes calificaron el diseño curricular de todas las carreras como rígido, con contenidos obsoletos, de carácter enciclopedista, y sin conexión con la formación práctica. Además, señalaron que dichos contenidos no podían modificarse fácilmente ni actualizarse bajo la metodología impuesta, lo que dificultó a los estudiantes la resolución de problemas reales. Para mejorar esta situación, se recomendó avanzar hacia un currículo flexible, integrado por materias obligatorias y electivas, de modo que cada estudiante pudiera elegir las asignaturas electivas, mientras que las regionales tendrían la posibilidad de adecuarlas a las necesidades productivas y tecnológicas locales. [22]

Para 1992, estas pautas se consolidaron en el documento titulado “Lineamientos básicos para el Diseño Curricular”, en el que se estableció que, para lograr un currículo flexible, el 15% de las asignaturas del plan de estudios debían ser electivas, organizadas en tres áreas principales:

- Ciencias Sociales: para que los ingenieros puedan comprender y trabajar en su entorno social y cultural.
- Gestión Ingenieril: para que el ingeniero pueda desarrollar habilidades de gestión, producción y emprendimiento.
- Científico-técnica: profundización y actualización para acceder al conocimiento de nuevas tecnologías y generar nuevos campos tecnológicos. [23]

Bajo estos lineamientos, la UTN ordenó a todo el ámbito educativo revisar sus diseños curriculares y actualizarlos en caso que corresponda. Estas recomendaciones se reflejaron en el Plan de Estudios 1995, el cual estructuró la carrera con un enfoque más detallado, formal pero a la vez más flexible. Los estudiantes debían cursar un total de seis materias en toda la carrera: una en el tercer año, una en cuarto y las cuatro restantes en quinto. Éstas debían pertenecer a las áreas Científico-Técnica, Ciencias Sociales o Gestión Ingenieril, de las cuales al menos una debería contribuir a la formación del alumno en la Administración de Recursos Humanos. [20]

El proceso de modernización continuó bajo la influencia del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) de dónde surge El Libro Azul [6], que inició el proceso de unificación curricular de la enseñanza de la ingeniería en el país. Posteriormente, el Libro Verde [7], establece pautas y estándares para la acreditación de las carreras, entre ellas una carga horaria mínima de 3.750 horas distribuidas idealmente en cinco años, así como la necesidad de incluir materias electivas para profundizar conocimientos y adquirir habilidades.

En 2001, el Ministerio de Educación impulsó un proceso de homogeneización curricular que impactó a todas las Ingenierías dentro del artículo 43 de la Ley de Educación (Resolución Ministerial 1232/2001), y a aquellas que aún no habían sido incluidas. Esto llevó a la UTN a un nuevo análisis de sus diseños curriculares para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



adecuarlos a las disposiciones de dicha homogeneización: Contenidos Curriculares Básicos, Carga horaria mínima, Criterios de Intensidad de la Formación Práctica, Estándares para la acreditación, y Actividades Profesionales Reservadas. El resultado fue la aprobación del "Plan de Estudio 2008" que mantuvo la misma organización del plan 1995, pero con una mayor flexibilidad en la elección de las electivas. El nuevo plan no indicaba la cantidad total de materias, sino las horas anuales que el estudiante debería cursar en los últimos tres años, reflejando una evolución hacia un enfoque más centrado en la carga horaria que en el número de asignaturas, dando la posibilidad al estudiante de personalizar su trayectoria académica, seleccionando asignaturas con menos o más carga horaria, o seleccionando en cuál cuatrimestre cursarán [19] . Para Camilloni [4] podemos definir su estructura curricular por asignaturas (obligatorias y electivas) a lo largo de cinco años lectivos. Su diseño curricular fue influenciado por las ordenanzas de la UTN, los libros del CONFEDI [6-7] y las resoluciones ministeriales hasta aquí expresadas. Las asignaturas se organizarían en áreas específicas definidas tanto por normativas internas como externas:

- Ordenanzas de la UTN: Áreas de formación homogénea, Programación, Computación, Sistemas de Información, Gestión Ingenieril y Modelos. En particular para las asignaturas electivas, también deben ser clasificadas por grupos de aplicación: Ciencias Sociales, Gestión Ingenieril y Científico Técnica.
- Influencias externas: Ciencias Básicas, Tecnologías Básicas, Tecnologías Aplicadas y Complementarias.

La carga horaria semanal del plan se basa en un mínimo de 32 semanas de clases anuales, distribuidas en dos semestres, según las Ordenanzas Nº 908/1999 y Nº 1549/2016. Se muestra esta información en la Imagen 1:

Hasta acá, este cambio curricular refleja tres características importantes:

- El devenir histórico: el currículo se rediseña sistemáticamente en función del desarrollo social, el progreso de la ciencia y el estudiante que se aspira a formar. Las discusiones llevadas en Las Jornadas Nacionales de Discusión de la UTN, dieron inicio al diseño curricular flexible. Los libros del CONFEDI y las resoluciones ministeriales le darían lineamientos para su estructura. El Plan 2008 de la UTN es un reflejo de estas discusiones y del compromiso de la universidad por formar profesionales que puedan afrontar los desafíos del siglo XXI, conectando el conocimiento académico con las necesidades reales de la sociedad.
- El profesional por formar: La UTN se propone formar un profesional comprometido con su entorno, que cuente con las herramientas y conocimientos a partir de las necesidades e influencias del medio, que pueda ser capaz de adaptarse a la dinámica del avance de la ciencia y la tecnología. Para ello, una de las variables más destacadas es la de incluir materias electivas al currículo, las cuales permiten darle flexibilidad.
- Vínculo con la sociedad: las materias electivas son el nexo entre la sociedad y la universidad, permitiendo formar profesionales que respondan a las demandas del entorno productivo y social, capaces de resolver problemas reales de la sociedad.

Todo este proceso evidencia una evolución intencionada del currículo que pasó de ser una lista de asignaturas a un dispositivo dinámico de formación profesional. Desde la intencionalidad pedagógica y

| Niveles | Asignaturas | Horas cátedras Semanales | Horas Reloj | Horas Reloj Anuales |
|---|---|---|---|---|
| **Primer Nivel** | Curriculares | 32 | 24 | 768 |
| **Segundo Nivel** | Curriculares | 34 | 25,5 | 816 |
| **Tercer Nivel** | Curriculares | 28 | 21 | 672 |
| | Electivas | 4 | 3 | 96 |
| **Cuarto Nivel** | Curriculares | 27 | 20, 25 | 648 |
| | Electivas | 4 | 3 | 96 |
| **Quinto Nivel** | Curriculares | 16 | 12 | 384 |
| | Electivas | 14 | 10,5 | 336 |
| **Formación Práctica** | | | | |
| | | | **Práctica Supervisada** | 200 |
| | | | **Total Horas Asignaturas Curriculares** | 3288 |
| | | | **Total Horas Asignaturas Electivas** | 528 |
| | | | **Total Horas Plan de Estudio 2008** | 4016 |

*Imagen 1. Carga Horaria de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información según Ordenanza 1150/2007 dictado adaptado a la FRT UTN. Elaboración propia.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



filosófica, se logró evidenciar una organización inteligente y ordenada del currículo con carácter flexible, y en el que se entiende la justificación, los medios y procedimientos que se deben llevar a cabo para insertar la electiva al currículo [5]. Desde una estructura técnica, se observó que la flexibilidad no solo reside en la cantidad de opciones, sino en la verdadera libertad de elección, reflejando una evolución hacia un enfoque más centrado en la carga horaria que en el número de asignaturas. Un buen propósito no es suficiente si la estructura técnica lo sabotea [3].

**Asignaturas Electivas**

Al contar con estas asignaturas en los planes de estudios de cada ingeniería, era importante contar con instrumentos para gestionarlas a nivel Universidad. Por esto, se crea la Ord. Nº 808/1996, que reconoció a las asignaturas electivas como la herramienta para concretar la flexibilidad curricular. Facultó a cada Regional para crear sus propias materias electivas según los intereses locales elevando al Rectorado para su debido conocimiento, y estableció que cada propuesta debía incluir detalles como denominación, carrera, departamento, área, objetivos, carga horaria, contenidos, bibliografía, modalidad, correlatividades y año(s) de implementación.

En 2012, a partir de la experiencia, se mejora el proceso de implementación de las asignaturas electivas, derogando a la Ordenanza 808 y aprobando una nueva Ord. Nº 1383/2012, en que agregaron precisiones importantes:

- Propuesta: Denominación de la asignatura electiva, carrera a la que pertenece, departamento, área de conocimiento, objetivos generales y específicos que justifiquen su inclusión, carga horaria, programa de contenidos analíticos, bibliografía a fin de determinar la profundidad académica, modalidad de dictado, propuesta pedagógica y correlativas académicas debidamente fundamentadas.
- Validez y actualización: En ordenanza 808, no se definió la periodicidad de las electivas, solo se solicitaba “Año(s) de implementación”. Es por ello que se estableció que tendrán una validez de cuatro ciclos lectivos consecutivos. Podrán ser renovadas siempre que se actualice aquellos contenidos analíticos en función de los avances tecnológicos y las necesidades regionales.
- Carga horaria mínima: Fijó una carga horaria mínima de 1.5 horas reloj anuales.
- Distribución de contenidos: Del espacio electivo total, un mínimo del 50% debe estar vinculado directamente con la disciplina, mientras que el otro 50% puede ser destinado a asignaturas complementarias.
- Registro: en la ordenanza anterior se tomó como formalismo la presentación de la propuesta, y es por ello que ahora toda propuesta de asignatura electiva, tiene que ser elevada para su registro a nivel Universidad.

De estos documentos, se entiende que la causa de creación de las asignaturas electivas deben responder a las necesidades de la sociedad, pero no indica las fuentes de creación, la fundamentación de acuerdo a dichas necesidades ni la frecuencia con las que se crean.

Acerca de la distribución, se distingue que el 15% del total de las asignaturas corresponde a materias electivas, especificando el área, la carga horaria mínima de 1,5 horas reloj anual, y además un mínimo del 50% del espacio electivo debe relacionarse directamente con la disciplina, mientras que el resto puede ser destinado a asignaturas complementarias. Aún así, no indica porcentaje de electivas por nivel, área, carga horaria total por cada grupo de aplicación.

La permanencia de las asignaturas electivas en el plan de estudios tiene validez de cuatro años lectivos consecutivos, con posibilidad de renovación. También indica que esto será de acuerdo a sus posibilidades presupuestarias. Sin embargo, no fue posible identificar por cuántos años lectivos serán renovadas, ni el tiempo máximo de permanencia en el currículo.

## Metodología

La investigación se enmarca en un enfoque documental, exploratorio y descriptivo, adecuado para abordar fenómenos educativos e institucionales que requieren la reconstrucción de procesos históricos y normativos. El propósito metodológico principal fue analizar el origen, la distribución y la permanencia de las materias electivas en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la mencionada institución en el período comprendido entre 2008 y 2022.

En primer lugar, se procedió a la selección de las fuentes que constituyeron la base empírica del estudio. Estas incluyeron:

a) Normativas ministeriales vinculadas a la acreditación de carreras de ingeniería y a la definición de estándares de calidad (por ejemplo, Resolución Nº 786/2009 del Ministerio de Educación de la Nación);
b) Ordenanzas del Consejo Superior Universitario de la UTN, tales como la Ordenanza 808/1996, la Ordenanza 1150/2007 y la Ordenanza 1383/2012, que regulan el sistema de electivas en toda la universidad;
c) Documentación institucional interna de la FRT, particularmente actas del Consejo Directivo y Departamental, que registran las propuestas, aprobaciones y renovaciones de asignaturas electivas; y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



d) Registros académicos y planes de estudio vigentes, que permitieron reconstruir la oferta efectiva de materias electivas en el período bajo análisis.

En segundo lugar, se aplicó una estrategia de análisis de contenido orientada a la sistematización y clasificación de la información. Esta estrategia consistió en la lectura minuciosa de las fuentes, la codificación temática y la organización de los datos en torno a tres dimensiones principales:

- Origen de las electivas, identificando las instancias y actores institucionales responsables de su propuesta y aprobación, y las fundamentaciones de su inclusión a la currícula electiva.
- Distribución curricular, analizando la carga horaria destinada a estas asignaturas, los años de cursado en que se concentran y las áreas temáticas predominantes.
- Permanencia temporal, considerando la duración de cada electiva, los criterios de renovación o sustitución y la estabilidad de la oferta a lo largo del tiempo.

La sistematización se apoyó en la elaboración de cuadros comparativos y series históricas que permitieron identificar patrones de continuidad y cambio en la oferta de electivas. Asimismo, se procuró establecer relaciones entre los marcos normativos y la práctica institucional, contrastando las disposiciones generales de la UTN con su aplicación específica en la FRT.

Por último, se reconocen ciertas limitaciones metodológicas. Dado el carácter documental del estudio, no se incluyó un relevamiento empírico mediante encuestas o entrevistas a estudiantes y docentes, lo que restringe la posibilidad de evaluar el impacto subjetivo y pedagógico de las materias electivas. De igual modo, el análisis se centró en la perspectiva institucional y normativa, sin incorporar en esta fase datos cuantitativos de rendimiento académico o inserción laboral de los egresados. No obstante, estas limitaciones no invalidan los resultados, ya que el objetivo principal fue comprender la dinámica histórica y normativa de las electivas, constituyendo un primer paso para futuros estudios de carácter mixto o empírico.

## Resultados

### Análisis de la Carga Horaria y Asignaturas Electivas en Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN

Por resolución ministerial [16], la carga horaria mínima de la carrera objeto de estudio tiene un mínimo de 3750 horas reloj. En la Imagen 1, se puede observar como la UTN ha establecido para esta carrera un plan de estudios con una carga horaria total de 4016 horas reloj. [21] Esto no solo cumple con el requisito mínimo, sino que lo supera en 266 horas, brindando este espacio para una formación integral de los futuros ingenieros.

Sin embargo, a pesar de cumplir ampliamente con la carga horaria total, el plan de estudios no alcanza el 15% de asignaturas electivas requerido para un currículo flexible. De las 4016 horas reloj totales de la carrera, 528 horas se destinan a las electivas, lo que representa el 13,14% del total:

$$(528 \text{ horas}/4016 \text{ horas}) \times 100\% = 13{,}14\%$$

Para satisfacer ese 15%, la carga horaria de las asignaturas electivas debería ser de 602,4 horas, es decir 74,4 horas adicionales. Esto equivale aproximadamente a cuatro horas cátedras por semana, alineándose con lo estipulado en la normativa vigente.

### Análisis documental de la gestión de asignaturas electivas a nivel Universidad

La gestión de las asignaturas electivas en la UTN fue evolucionando a lo largo del tiempo. El concepto de flexibilidad, que tomó relevancia en las Jornadas Nacionales de Discusión Académica de la UTN en 1988 [22], marcó un cambio trascendental de un currículo rígido a uno abierto, orientado a las necesidades productivas/tecnológicas de la sociedad como así también a la posibilidad de elección de los estudiantes. Como resultado, el documento de "Lineamientos básicos para el diseño curricular", dispone que cada currículo debe tener reservado un 15% de la carga horaria destinada para las asignaturas electivas, agrupadas en tres áreas: Ciencias Sociales, Científico-Técnica y Gestión Ingenieril. En 1994, el plan de Estudios de todas las carreras del ámbito de la UTN, particularmente la de Ingeniería en Sistemas de Información, incluyó un espacio electivo, en que el Rectorado delegaba a las regionales el ofrecerlas.

Sin embargo, esta descentralización inicial de delegar la facultad de gestionar las asignaturas electivas generó la necesidad de contar con un dispositivo que estandarice los criterios de implementación de las electivas a nivel Universitario, lo que llevó a la creación de la Ordenanza Nº 808/1996.

El 2003, año clave para la revisión de los planes de estudios solicitados por el ministerio de Educación, la UTN facultó que cada unidad académica pueda otorgar un carácter permanente a las asignaturas electivas, incorporándose al plan de estudios de esa unidad académica. También reitera la obligatoriedad de comunicar a la Dirección General de Asuntos Académicos de la Universidad en tiempo y forma todas las materias electivas a dictarse, con sus lineamientos, requerimiento tomado como opcional, documento exigido con el fin de realizar un correcto control de los certificados analíticos en el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



momento en que el estudiante los solicita por graduación de carrera.

Luego de nueve años de experiencias obtenidas, en 2012, se crea una nueva ordenanza Nº 1383, corrigió deficiencias, fortaleciendo la gestión de las asignaturas electivas, donde estableció pautas más claras y explícitas, tales como como la validez de cuatro años y la relación con la disciplina, renovar los contenidos para reflejar los avances tecnológicos, flujo administrativo en cómo se llevará a cabo la implementación cada materia electiva.

Explicada la evolución de los instrumentos documentales de las asignaturas electivas, es posible identificar dos aspectos estructurales-formales y procesales-prácticos [8], lo que se establece como norma y en cómo se lleva a la práctica dicha norma. La omisión de elevar las propuestas de electivas para su registro a nivel Rectorado fue una falla en los aspectos procesales prácticos. Durante siete años, se convivió en una corrupción sistémica [14], debido a que las normas y las reglas fueron inciertas, poco conocidas o no compartidas por todas las regionales y UA.

Ante estas incertidumbres o malas interpretaciones de ordenanzas o resoluciones que generan retrasos en la gestión de las tareas, la UTN creó una nueva Ordenanza 1383 a fin de refrendar estas situaciones en busca de la calidad institucional [14].

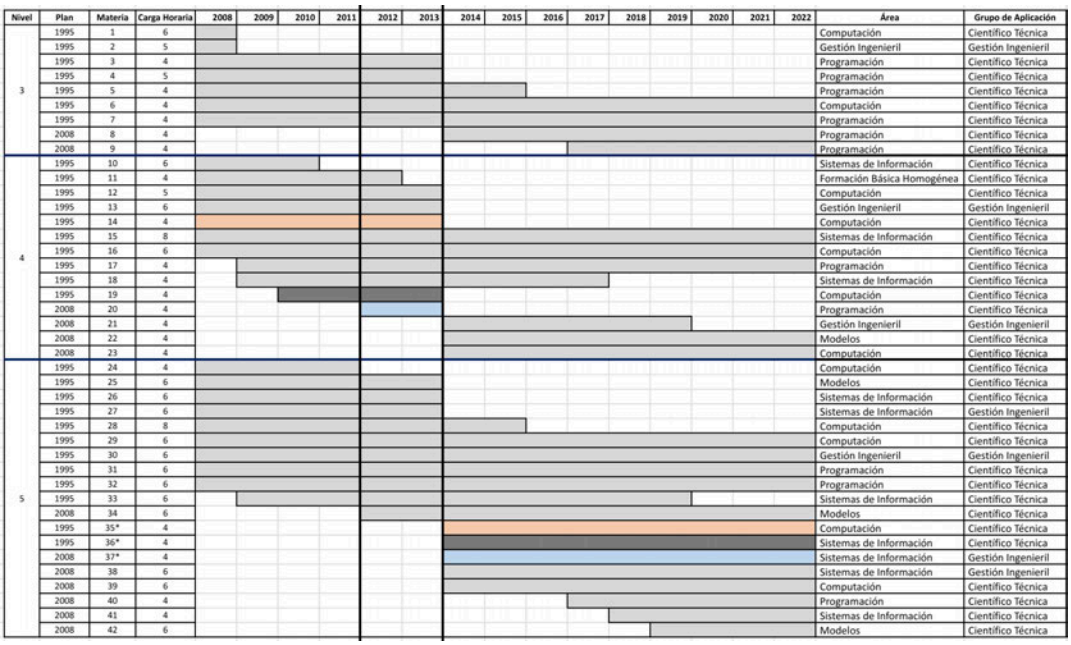
Este análisis histórico nos permite comprender el presente de la gestión de las asignaturas electivas, este proceso de transformación de los documentos con el fin de estandarizar los lineamientos a nivel Universidad, y que además, cada requerimiento no sea ambiguo y contradictorio.[2]

Aún con todas estas refrendas, en la propuesta de las asignaturas electivas no se solicita el Grupo de Aplicación, concepto importante incluido en los "Lineamientos Básicos del diseño curricular"[23] . Al no contar con este dato en los documentos recolectados, resultó en contratiempo el poder clasificar las electivas pertenecientes al Plan de Estudios 2008. Para ello, se solicitó el apoyo del director y secretario del Departamento de Sistemas de la FRT UTN, a fin de realizar dicha clasificación.

**Análisis de datos**

Se identificaron 39 asignaturas electivas para el período 2008-2022, a partir del análisis de los datos recopilados y procesados. Las visualizamos en la Imagen 2:

Para realizar esta ilustración, se tuvo en cuenta el factor de "transición entre planes 1995 y 2008". Los estudiantes que habían comenzado sus estudios con el plan 1995 podían continuar con él hasta fin del año académico 2011, momento a partir del cual todos los estudiantes, sin excepción, se regirán por el plan 2008.



| Nivel | Plan | Materia | Carga Horaria | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | Área | Grupo de Aplicación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1995 | 1 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 2 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | Gestión Ingenieril | Gestión Ingenieril |
| | 1995 | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 1995 | 4 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 1995 | 5 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 1995 | 6 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 7 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 2008 | 8 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 2008 | 9 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| 4 | 1995 | 10 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Científico Técnica |
| | 1995 | 11 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Formación Básica Homogénea | Científico Técnica |
| | 1995 | 12 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 13 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Gestión Ingenieril | Gestión Ingenieril |
| | 1995 | 14 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 15 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Científico Técnica |
| | 1995 | 16 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 17 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 1995 | 18 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Científico Técnica |
| | 1995 | 19 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 2008 | 20 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 2008 | 21 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Gestión Ingenieril | Gestión Ingenieril |
| | 2008 | 22 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Modelos | Científico Técnica |
| | 2008 | 23 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| 5 | 1995 | 24 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 25 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Modelos | Científico Técnica |
| | 1995 | 26 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Científico Técnica |
| | 1995 | 27 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Gestión Ingenieril |
| | 1995 | 28 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 29 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 30 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Gestión Ingenieril | Gestión Ingenieril |
| | 1995 | 31 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 1995 | 32 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 1995 | 33 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Científico Técnica |
| | 2008 | 34 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Modelos | Científico Técnica |
| | 1995 | 35* | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 1995 | 36* | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Científico Técnica |
| | 2008 | 37* | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Gestión Ingenieril |
| | 2008 | 38 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Gestión Ingenieril |
| | 2008 | 39 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Computación | Científico Técnica |
| | 2008 | 40 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Programación | Científico Técnica |
| | 2008 | 41 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | Sistemas de Información | Científico Técnica |
| | 2008 | 42 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | Modelos | Científico Técnica |

De dicha ilustración, la información obtenida es:

**Inclusión de asignaturas al espacio electivo**

A partir del año 2008, se observa el siguiente movimiento en el plan de estudios 1995:

- 2008: comienza con 23 materias electivas. No contamos con documentación que indique cuándo fueron incluidas en el plan de estudios.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- 2008-2011, se incorporaron cuatro asignaturas.

Desde el año 2012, se observa el siguiente movimiento en el plan de estudios 2008:

- 2012: Se incorporaron dos asignaturas.
- 2014: Ocurrió un cambio significativo, con la adición de seis asignaturas y el cambio de nivel de tres.
- 2016-2019: Se sumaron cuatro materias más.
- 2020-2022: No se añadieron asignaturas electivas.

En promedio, se incluye una 1 materia por año en este periodo.

**Distribución de asignaturas en el espacio electivo**

Se analizó la distribución bajo cuatro conceptos: plan de estudios, nivel, área y grupo de aplicación. En el período 2008-2022, el Plan 1995 cuenta con un total de 27 asignaturas, de las cuales siete, diez y diez fueron distribuidas en tercer, cuarto y quinto nivel, respectivamente. Para el Plan 2008, 12 asignaturas, donde dos, cuatro y seis están distribuidas en tercer, cuarto y quinto nivel, respectivamente. Es posible inferir que quinto año cuenta con más asignaturas electivas, seguida de cuarto y finalmente tercero. Esta distribución tiene sentido, ya que en la Tabla 1 se indica que se deben cumplir cuatro horas anuales u ocho horas cátedras para tercero y cuarto año, y para quinto nivel de 14 horas anuales o 28 horas cátedra, lo que equivale a dos materias exigidas para tercer y cuarto año y siete para quinto nivel (según Ordenanza Nº 1383/2012, la carga horaria de cada materia no debe ser inferior a 1,5 horas reloj o 2 horas cátedras anuales o 4 horas cuatrimestrales).

Respecto del área, Formación Básica Homogénea cuenta con una asignatura; Gestión Ingenieril, cuatro; Modelos, cuatro; Sistemas de Información, diez; Programación, once, y Computación, nueve; observamos que la oferta de materias electivas está más orientada a las áreas de Programación (28,2% - 11 materias), Sistemas de Información (25,6% - 10 materias) y Computación (23% - 9). Si clasificamos el área por niveles, es posible apreciar que el 3° nivel está orientado al área de Programación (seis); 4° nivel al área de Computación (cinco) y 5° nivel al área de Sistemas de Información.

Por último, ubicamos 32 asignaturas electivas en el grupo de Aplicación Científico-Técnica, 7 en Gestión Ingenieril y ninguna en Ciencias Sociales. Apreciamos que el 100% de las asignaturas están destinadas a la disciplina, superando el mínimo establecido por ordenanza Nº 1383. También indica que como máximo un 50% debe estar destinada a las complementarias, y aunque haya un 0% , cumple numéricamente.

**Permanencia de las asignaturas dentro del espacio electivo**

Hay 22 asignaturas vigentes hasta el año 2022 incluido. En el período 2008-2022, 8 asignaturas (37%) con 15 años de permanencia, inicialmente del plan 1995; en el rango 2014-2022, 8 asignaturas (37%) con 9 años de dictado, del plan 2008. El 26% de las asignaturas, cuentan con un promedio de 7 años en el espacio lectivo. Podemos concluir que al menos se renovaron una vez.

De las 17 asignaturas no vigentes, 16 pertenecieron inicialmente al plan 1995 y solamente 1 al plan 2008. De las 16, el 37,5% dejaron de dictarse en 2014.

**Análisis documental de la gestión de asignaturas electivas a nivel Regional**

Con la Resolución Decanal Nº 118/2011 aprobada por el Consejo Directivo de la FRT, la Directora del Departamento de Sistemas de la FRT solicitó la equivalencia directa entre asignaturas electivas del Plan 1995 con las del Plan 2008 pertenecientes a los últimos tres niveles de la carrera, mismas en contenido como denominación. Esto responde a la existencia de las asignaturas del plan 1995 después de 2012.

De las resoluciones decanales obtenidas, que solicitan la incorporación de las asignaturas electivas al espacio electivo (2/2012, 851/2012, 159/2014, 1149/2014, 1279/2017 y 1280/2017), se logró obtener que una posible fuente de creación es el Consejo Departamental de Sistemas, con previa consulta a docentes. No es posible concluir que realmente sea esta la única fuente de creación y/u origen de dichas materias. En cuanto a la fundamentación de inclusión, encontramos que se busca responder a las demandas de empresas y organizaciones locales; orientadas al desarrollo profesional; complementar las habilidades que debe tener un ingeniero en sistemas y garantizar que los estudiantes cuenten con las herramientas, tecnologías más recientes, adaptando las mismas a las exigencias globales. Estas resoluciones son coincidentes con la Tabla 1.

En 2018, el Consejo Directivo elevó al Rectorado la renovación de un conjunto de asignaturas electivas previamente aprobadas en 2014, con el propósito de mantener la vigencia de las mismas en el plan de estudios. Esta presentación dió cumplimiento a lo solicitado en los lineamientos para la implementación de las mismas en el ámbito de la Universidad.

**Otras consideraciones**

El proceso de elevación de las propuestas al Rectorado por parte del Consejo Directivo de la UTN-FRT a propuesta del Departamento de Sistemas, cumple según artículos 2,8 y 9 de la ordenanza 1383. Estas propuestas cumplen ampliamente con los ítems solicitados en artículo 3 dicha ordenanza. Se logró encontrar cinco formatos diferentes de propuestas, en Tabla 2, de las cuales, solo una de ellas tiene en cuenta en grupo de aplicación a la que pertenece la asignatura electiva (Ciencia Sociales, Científico-Técnica, Gestión Ingenieril).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Ítem | Formato 1 | Formato 2 | Formato 3 | Formato 4 | Formato 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre de la Asignatura/Materia | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Carrera para la que se dicta/ Carrera | ✓ | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| Departamento | x | ✓ | x | ✓ | ✓ |
| Nombre de Área/Área | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Modalidad de dictado | x | x | ✓ | x | x |
| Nivel | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Grupo | ✓ | x | x | x | x |
| Régimen de cursado | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Tipo (electiva) | ✓ | x | x | x | x |
| Carga Horaria semanal/Horas semanales | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Fundamento de la materia | x | x | ✓ | x | x |
| Objetivos | ✓ | ✓ | x | ✓ | x |
| Objetivos Generales | x | x | ✓ | x | ✓ |
| Objetivos Específicos | x | x | ✓ | x | ✓ |
| Articulación Vertical y Horizontal | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cuadro de Horas estimadas para intensidad en la formación práctica | x | x | x | ✓ | ✓ |
| Modelo de Enseñanza Aprendizaje | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Programa de la asignatura/Contenido | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Sistema de Evaluaciones | ✓ | x | x | x | x |
| Bibliografía | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Metodología de Evaluación | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aportes de la materia al perfil profesional | x | x | ✓ | x | x |
| Correlativas para cursar y rendir/Sistemas de Correlativas | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Justificación de las correlativas | x | x | ✓ | ✓ | x |

## Discusión

A través de la recolección de documentos digitales del Consejo Superior Universitarios de la UTN, de documentos físicos de resoluciones decanales de la FRT, resoluciones ministeriales y leyes educacionales, que impactan al diseño curricular de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, es posible conocer las razones por las cuales las asignaturas electivas se convierten en un componente importante dentro del plan de estudios, dándole carácter de flexible y manteniéndolo vigente sin requerir modificaciones curriculares masivas. Por ello conocer cómo se gestionan es vital, ya que las mismas actúan como nexo entre la sociedad y la universidad, y la actualización está sujeta a los avances tecnológicos y las necesidades de la sociedad en la que la regional está inserta.

Acerca del origen de las electivas, falta claridad en cuanto a la participación de diferentes actores en su diseño. Sólo fue posible validar que las propuestas de las asignaturas electivas son a través del Consejo Departamental de la carrera, requisito de la ordenanza 1383.

La mayoría de las asignaturas electivas son Científico-Técnica, con un marcado énfasis en Programación y Computación. El resto de la oferta se orienta a la Gestión Ingenieril. No se incorporó ninguna asignatura del grupo de Ciencias Sociales en este espacio curricular. Si bien cumple numéricamente con lo indicado en la Ordenanza 1383, que indica que un mínimo del 50% tiene que estar orientado a la disciplina, y un máximo del 50% a las complementarias, es importante tener en cuenta que el perfil profesional de la Ordenanza 1150, Plan de Estudios 2008, el ingeniero en Sistemas de Información recibe una preparación integral técnica y humanística. Es importante destacar la ambigüedad que surge al leer “un máximo de 50%”, ya que la interpretación lleva nulo o la mitad del espacio electivo. Pero tener ninguna asignatura electiva orientada a Ciencias Sociales no cubre con el perfil esperado por un ingeniero en sistemas.

Se identificaron ocho asignaturas electivas con 15 años de vigencia en el plan de estudios. Esto implica que estas materias, incorporadas en 2008, han sido renovadas al menos tres veces desde su implementación. La duración de estas asignaturas plantea dos interrogantes en cuanto a su permanencia prolongada en el espacio electivo y si la normativa contempla alguna restricción en la cantidad de renovaciones que pueda tener una asignatura electiva, a fin de mantener la flexibilidad y evitar el estancamiento. En cuanto a la permanencia, sería importante analizar si estas asignaturas podrían obtener el carácter de obligatorias, ya que se podría considerar que cubren un conocimiento fundamental y relevante, o bien, podría ser un reflejo de una falta de actualización en la oferta académica.

Es importante reconocer que la Universidad, ante incertidumbres o malas interpretaciones de ordenanzas o resoluciones que generan retrasos en la gestión de las tareas, pueda refrendar estas situaciones en busca de la calidad institucional. Se aprecia esta situación ante las derogaciones que se realizaron en la Ordenanza Nº 1383, que corrige omisiones, ambigüedades, y agrega nuevos lineamientos para la implementación de las asignaturas electivas.

No obstante, esta institución muestra una postura reactiva; los problemas sistémicos sólo se corrigen cuando provocan irregularidades o fallos administrativos. La Resolución Nª 318/2003 es un claro ejemplo de esto. Dicha resolución se emitió después de que las Facultades Regionales y Unidades Académicas (FR y UA)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



interpretaran como un mero formalismo el envío de propuestas de asignaturas al Rectorado. Esta omisión impidió un control adecuado de los certificados analíticos, los cuales carecían de información crucial como los requisitos académicos para cursar y rendir. Además, se descubrió que se habían ofrecido propuestas de asignaturas que se dictaron antes de su aprobación formal. Esta falta de proactividad se refleja en el hecho de que, nueve años después de la Ordenanza 808, aún era necesario emitir una resolución para recordar la obligación de presentar propuestas, y no fue sino hasta 2012 que se solicitó una comisión para analizar el impacto de las asignaturas optativas en cada FR y UA. La interpretación de una solicitud como una simple formalidad tuvo un impacto tan significativo que afectó directamente la validez de los certificados de los estudiantes.

## Conclusiones

El presente trabajo analiza el proceso de incorporación, gestión y evaluación de asignaturas electivas de la carrera de Ingeniería en Sistemas de la UTN-FRT entre el 2008-2022. A partir de una serie de elementos disponibles como pueden ser documentación institucional, ministerial y universitaria, se detalla cómo estas asignaturas se integran en el plan de estudio y se gestionan bajo los lineamientos del Rectorado y Decanato. La identificación a su vez, de diferentes formatos de presentación de programas provoca que se recomienden criterios de homogeneización, incluyendo cuestiones como la definición del grupo de aplicación de cada electiva. En este sentido, el estudio evidencia una marcada tendencia hacia asignaturas científico-técnicas (82%), con escasa presencia de gestión (18%) y nula de ciencias sociales, lo que genera ciertas tensiones respecto a las exigencias de la normativa ministerial.

También se plantean interrogantes sobre la renovación, vigencia y baja de asignaturas, ante la falta de lineamientos claros del rectorado, así como sobre la gestión de electivas con poca o nula demanda estudiantil. Se observaron materias que se mantuvieron por 15 años sin cambios y que, en cierto momentos, la oferta limitó la flexibilidad curricular. Si bien se puede detectar que la propuesta académica respondió parcialmente a las demandas tecnológicas como las nuevas tendencias en inteligencia artificial o minería de datos, quedaron relegadas e incluso ausentes temas como innovación, medio ambiente o emprendedurismo.

En este sentido, se considera necesario avanzar hacia un homogeneización de formatos y criterios de presentación y justificación, definir con claridad los grupos de aplicación de cada electiva y establecer protocolos institucionales claros y transparentes sobre la vigencia, renovación y baja de las materias. A su vez, sería interesante equilibrar la distribución de las asignaturas incluyendo contenidos relegados como ciencias sociales y humanidades para dar cumplimiento a la normativa y favorecer la formación de profesionales con conciencia social y responsabilidad ética. Finalmente, sería pertinente la implementación de un mecanismo de seguimiento anual que registre la continuidad, renovación, actualización o discontinuidad de cada electiva con el fin de optimizar recursos, garantizar la flexibilidad curricular y mantener la pertinencia de la oferta académica frente a los desafíos de la sociedad y el mercado laboral.

## Referencias

[1] A. Ísola et al. (2013). Las asignaturas electivas como eje de la formación del ingeniero ante los desafíos del desarrollo tecnológico. En Educación en Ingeniería. CoNaIISI 2013.

[2] Bianco, I. L. (2006). Organización y Universidad. La toma de decisiones en órganos colegiados. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán.

[3] Camilloni, A. W. (2001). Modalidades y proyectos de cambio curricular. En Aportes para un cambio curricular en Argentina 2001. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Medicina. OPS/OMS.

[4] Camilloni, A. W. (2016). Tendencias y formatos en el currículo universitario. Itinerarios Educativos, la revista del INDI. (Núm.9).

[5] Canudas, L. F. (1971). El curriculum de estudios en la Enseñanza Superior. Revista de la Educación Superior, Número 2, Volumen 1.

[6] CONFEDI. (1996). Unificación Curricular en la enseñanza de las ingenierías en la República Argentina. Modernización de la enseñanza de las Ingenierías. Proyecto ICI-CONFEDI.

[7] CONFEDI. (2000). Manual de Acreditación para carreras de ingeniería en la República Argentina. CONFEDI.

[8] De Alba, A. (1998). Currículum: crisis, mito y perspectivas. Miño y Dávila Editores S.R.L.

[9] Granado Peralta S. et al (2012). El currículo como dispositivo de vínculo entre la sociedad y la Universidad. En The role of the Engineer in Social change at Regional and International levels. WEEF 2012

[10] Ley 13.229. Creación de la Universidad Obrera Nacional (Universidad Tecnológica Nacional) y cursos de perfeccionamiento técnico para obreros. Art. 10 (1948). Publicada en el Boletín Nacional,31 de agosto de 1948. Argentina

[11] Ley 14.855. Universidad Tecnológica Nacional. Art. 2 (1959). Publicada en el Boletín Nacional, 2 de diciembre de 1959. Argentina

[12] Ley 24.195. Ley Federal de Educación. Arts 6, 22 (1993) . Publicada en el Boletín Nacional, 5 de mayo de 1993. Argentina.

[13] Ley 24.521. Ley de Educación Superior. Arts 4,28 (1995). Publicada en el Boletín Nacional, 10 de agosto de 1995. Argentina.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[14] Lineras, A. F. (2002). Escenarios de la Universidad hoy. Nuevas formas de organización de la Universidad. Hacia una cultura organizacional integrada. Universidad Nacional del Nordeste. Jornadas Institucionales.

[15] Ministerio de Educación. (2001). Educación Superior Art. 43, L. 24521 - Incorporación de títulos (Resolución Ministerial N° 1232). Boletín Oficial de la República Argentina, 28 de diciembre de 2001.

[16] Ministerio de Educación. (2009). Educación Superior Art. 43, L. 24521 - Incorporación de títulos (Resolución Ministerial N° 786). Boletín Oficial de la República Argentina, 26 de junio de 2009.

[17] Ordenanza 225/1974. Crea la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. UTN

[18] Ordenanza 226/1974. Deroga Ordenanza Nº 225, Creación carrera Ingeniería en Sistemas de Información. UTN

[19] Ordenanza 470/1984. Crea la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. UTN.

[20] Ordenanza 764/1994. Aprueba el diseño curricular de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. UTN.

[21] Ordenanza 1150/2007. Aprueba el diseño curricular de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. UTN.

[22] Resolución 38/1989. Conclusiones de las Primeras Jornadas Nacionales de Discusión Académica de la Universidad Tecnológica Nacional. UTN.

[23] Resolución 326/1992. Aprobación de lineamientos generales de los nuevos diseños curriculares. UTN.

[24] Resolución 1/2011. Estatuto de la Universidad Tecnológica Nacional. UTN.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Herramientas de soporte para actividades prácticas en asignaturas de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información

Sebastián Norberto Mussetta[1], Norberto Gaspar Cena[1], Ignacio Daniel Favro[1]
[1]Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María
smussetta@frvm.utn.edu.ar, sistemas@frvm.utn.edu.ar

***Resumen***

*Actualmente, los diseños curriculares orientados por competencias, fortalecen aún más el desarrollo de actividades prácticas en los diferentes espacios curriculares. De esta manera se pone énfasis en que el alumno no sólo debe saber sino además debe saber hacer. El presente trabajo describe un conjunto de herramientas de software que crean ambientes virtuales para que el alumno pueda desarrollar sus actividades prácticas en asignaturas de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, particularmente en las cátedras Algoritmos y Estructura de Datos, Sistemas Operativos y Redes de Datos dictadas en primer, segundo y cuarto nivel respectivamente de la carrera. Estos ambientes propuestos permiten al alumno desarrollar las actividades prácticas propuestas sin tener que contar con estructuras de hardware y software complejas, sino que de manera remota se conectan a dichos ambientes para realizar las actividades. Además, el docente puede observar y realizar el seguimiento de estas actividades de manera ágil y sencilla. El acceso a estos ambientes se puede realizar desde dispositivos clientes en el aula o también desde sus hogares. Los ambientes virtuales propuestos, son realizados con la integración de una gran variedad de tecnologías de software y no requieren una gran capacidad de hardware para su funcionamiento. Los resultados evidencian mejoras en la participación, la autonomía y el seguimiento docente, consolidando la propuesta como una estrategia de innovación pedagógica viable y sostenible.*

## 1. Palabras clave

Ambientes virtuales, actividades prácticas, redes de datos, algoritmos y estructura de datos, sistemas operativos, Moodle, Proxmox, Vpl.

## 2. Introducción

El proceso de enseñanza aprendizaje en las carreras de grado de la Universidad Tecnológica Nacional ha evolucionado con el tiempo, las herramientas metodológicas de dicho proceso deben adecuarse a los tiempos actuales. El proceso no se limita a clases magistrales sino todo lo contrario, el alumno toma un rol preponderante durante el proceso de aprendizaje. Los graduados de la carrera de ingeniería deben manifestar competencias del saber conocer, del saber hacer y del saber ser, lo cual involucra la aplicación efectiva de una estructura compleja que abarca conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores CSU UTN [1]. Cada asignatura del plan de estudios cuenta con un conjunto de actividades prácticas establecidas de antemano en el plan anual de actividades académicas. En la mayoría de los casos, el alumno resuelve las actividades prácticas de manera individual, con el apoyo del docente, en ambientes de hardware y software propios del alumno. Esto hace que, en cursos numerosos, el alumno deba contar con equipamiento de hardware y software específico, y que en lo posible esté disponible en el aula, o sea que sea móvil. Si bien las actividades pueden ser grupales, la infraestructura de hardware y software utilizada en la mayoría de los casos es propiedad de los alumnos. Uno de los principales desafíos identificados es la limitación en la disponibilidad de equipamiento y software especializado, que se vuelve especialmente crítica en cursos con un número elevado de estudiantes, dificultando tanto la realización de las prácticas como el adecuado seguimiento por parte del cuerpo docente. El planteo de un ambiente virtual centralizado específico para el desarrollo de actividades prácticas permite que el alumno no requiera equipamiento especializado, simplemente una conexión a internet desde su hogar o internet en el aula, y por otro lado permite que el docente pueda utilizar dicha plataforma virtual para el seguimiento y monitoreo de las actividades de los alumnos. Si bien en este trabajo se abordan las asignaturas Algoritmos y Estructuras de Datos, Sistemas Operativos y Redes de Datos, pueden desplegarse ambientes similares abordando otro conjunto de contenidos académicos a explorar. El presente trabajo tiene como objetivo crear ambientes centralizados de actividades prácticas académicas que favorezcan el proceso de enseñanza aprendizaje a través de la integración de diversas herramientas tecnológicas. Como herramienta de soporte para el desarrollo de actividades prácticas de la asignatura Algoritmos y Estructura de datos se plantea el diseño de una plataforma virtual integrando Moodle [2] y Vpl [3]. A través de Moodle, los alumnos acceden al curso donde encuentran disponibles clases grabadas en video, presentaciones,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



apuntes, libros, foros, entre otros. El desafío de esta implementación consta que además de las herramientas de moodle convencionales disponibles, el docente puede configurar actividades de desarrollo de algoritmos para ser resueltos en diferentes lenguajes de programación. A partir de allí, los alumnos pueden ingresar a dichas actividades, resolver los algoritmos en diferentes lenguajes, los mismos puedan compilarse en la plataforma de manera que el alumno los resuelva en línea y que además la actividad sea calificada en tiempo real. Para ello es necesario configurar un servidor VPL y vincularlo con el módulo de Moodle correspondiente.ón. Como complemento de esas actividades, se propone la utilización de Beecrowd [4]. Para el desarrollo de actividades prácticas en la asignatura Sistemas Operativos, se considera conveniente y oportuno contar con máquinas virtuales que puedan ser accedidas por los alumnos de manera que no sea necesario que cuenten con diferentes sistemas operativos en sus equipos físicos. Si bien ellos pueden instalar máquinas virtuales locales, deberán contar con hardware apropiado y además el docente no podrá realizar un seguimiento de las actividades individuales adecuado, sobre todo si el curso es numeroso. Es por eso que se propone una plataforma de máquinas virtuales donde los alumnos se conectan de manera remota y puedan resolver guías de trabajos prácticos. Las actividades de cada alumno pueden registrarse en el servidor donde se conectan y pueden ser enviadas a otro servidor de logs, donde al recibir la actividad, la misma se corrige en tiempo real. De esta manera tanto el alumno como el docente pueden realizar un seguimiento de las actividades realizadas. Este modelo resulta de gran utilidad tanto para el alumno como para el docente, ya que de la misma manera que en la asignatura Algoritmos y Estructura de Datos, el alumno no requiere de hardware y software específico y el docente puede realizar un seguimiento de las actividades de los alumnos en tiempo real de manera independiente a la cantidad de alumnos del curso. Para el caso de esta asignatura Redes de Datos, resulta evidente la necesidad de contar con equipamiento específico para el desarrollo de actividades prácticas debido a la gran variedad de equipos necesarios tales como diferentes sistemas operativos, conexiones, servicios, firewalls, entre otros. Contar con una plataforma exclusiva de acceso remoto a un ambiente virtual con el equipamiento mencionado en el párrafo anterior contribuye de manera significativa al proceso de enseñanza aprendizaje de la asignatura. Si bien no se deben descartar las actividades prácticas con equipamiento físico real, las mismas se pueden complementar fácilmente con el ambiente virtual propuesto.

A continuación se detallan los propósitos de las asignaturas involucradas según las planificaciones de cátedras de los respectivos docentes. Los contenidos mínimos, objetivos, carga horaria, bloque de conocimiento, bloque y area, competencias de egreso especícas entre otras, se pueden visualizar en el diseño curricular de la carrera Ing. en Sistemas de Información Plan 2023. Cada una de las herramientas tecnológicas propuestas a continuación se enmarcan dentro de los propósitos de cada asignatura.

Algoritmos y estructura de datos: Desarrollar las competencias básicas necesarias para que puedan interpretar y resolver un problema mediante la implementación de algoritmos utilizando un lenguaje informático con la estructura de datos adecuada.

Sistemas Operativos: brindar al estudiante la capacidad de comprender el funcionamiento e interacción de los componentes internos de diferentes Sistemas Operativos, de manera que permita identificar la mejor alternativa de implementación de aplicaciones en los sistemas operativos y administración de los mismos.

Redes de datos: aplicar la capacidad y el ingenio para diseñar, configurar e implementar redes de computadoras, sobre la cual desplegarán un sistema de información, teniendo en cuenta diferentes topologías, protocolos y arquitectura de redes. En la siguiente sección se detallan los elementos de trabajo y la metodología utilizada para implementar estas herramientas.

## 3. Elementos de trabajo y metodología

El presente trabajo plantea, a través de una implementación ingenieril una innovación, generando diferentes ambientes virtuales de desarrollo de actividades prácticas en asignaturas de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. Estas herramientas deben facilitar el desarrollo de habilidades en la formación práctica del alumno en la carrera y por otro lado simplificar la actividad de seguimiento docente en el desarrollo de dichas actividades. El trabajo consta de una investigación aplicada y experimental de manera de poder implementarla. Está basado en la selección e implementación individual y pruebas de funcionamiento e integración de cada una de las herramientas que aportan a los objetivos de la presente propuesta para poder implementar arquitecturas de software centralizadas y específicas acordes a las características de las asignaturas planteadas con el fin de contribuir al proceso de enseñanza aprendizaje.

La identificación de herramientas adecuadas para la implementación se realiza a través de la selección de aquellas que cumplan con determinados requisitos en cuanto a: funcionalidad, compatibilidad, licenciamiento, arquitectura, integración y desarrollo de herramientas propias. Se utilizan una gran variedad de instrumentos para el desarrollo de la integración, tales como: hipervisor Proxmox [5], Moodle Server, Vpl Server, Vpl Moodle Client, Beccrowd, Mikrotiks SO, MS Windows SO, Debian GNU Linux, Ubuntu Server, Openvpn Server, Openvpn client, firewalls, routers, CTFD [6], entre otras. Cada una de estas herramientas son integradas en una configuración conjunta, creando diferentes ambientes disponibles para el desarrollo de las actividades prácticas del alumno y el seguimiento docente. Se realizan pruebas con los roles de alumnos y docente, probando funcionamiento, compatibilidad, eficiencia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Algoritmos y Estructuras de datos

Integración de Moodle con VPL para la realización de actividades prácticas referidas al desarrollo de software en diferentes lenguajes de programación. La asignatura cuenta actualmente con un curso disponible en la plataforma moodle, los alumnos y docentes ya se encuentran enrolados y se utiliza de manera habitual con los recursos y actividades nativas tales como foros, cuestionarios, chats, archivos, etc. A partir de allí se procede a la incorporación de VPL [7] el cual incorpora una forma sencilla de gestionar tareas de programación en Moodle. Sus funciones de edición, ejecución y evaluación de programas hacen que el proceso de aprendizaje para los estudiantes y la tarea de evaluación para los profesores sean más simples. Como se observa en la Figura 1, la extensión VPL integrada en Moodle permite que los alumnos editen, compilen y evalúen código directamente en el entorno virtual.




Figura 1. Extensión VPL para Moodle

A continuación se procede a la instalación del servidor VPL el cual estará vinculado con la extensión de Moodle anterior. La Figura 2 muestra el servicio VPL en ejecución, mientras que la Figura 3 presenta la máquina virtual donde se aloja dicho servidor. El funcionamiento de la arquitectura es la siguiente: el docente crea la actividad vpl en moodle, los alumnos ingresan a la actividad, escriben el código fuente del algoritmo en el lenguaje estipulado y este código se envía de manera automática para su prueba y depuración al servidor VPL, la cual son enviadas nuevamente a la actividad moodle para la visualización del alumno y el docente. Para ello se confifura VPL Server en una máquina virtual con debian 12.

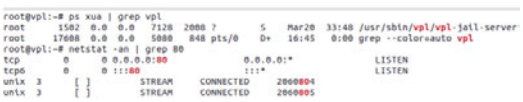



Figura 2. Servicio VPL en ejecución

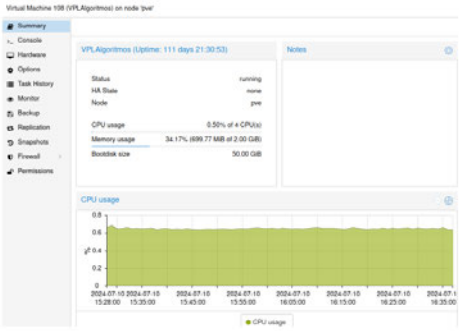


Figura 3. Máquina Virtual VPL en Proxmox

Con esta configuración, el docente puede crear las actividades y el alumno solo necesita un navegador web para poder completarlas. En las Figuras 4 y 5 se ilustran ejemplos de actividades prácticas y los resultados obtenidos por los estudiantes en la plataforma VPL de Moodle.




Figura 4. Actividad Python Moodle VPL

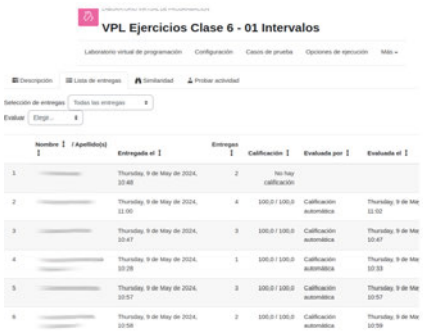



Figura 5. Resultado de actividad Python Moodle VPL

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por otro lado Beecrowd, anteriormente conocido como URI Online Judge, es una plataforma en línea para practicar y mejorar habilidades de programación. Los resultados de los torneos realizados mediante esta plataforma se muestran en la Figura 6. A través de esta plataforma online, se pueden resolver problemas de programación con categorías y niveles de dificultad. Es utilizado por estudiantes, profesores y profesionales para aprender, enseñar y practicar la programación competitiva. Soporta una gran variedad de lenguajes. Se pueden crear además torneos en el cual los alumnos de la comisión pueden participar y aprender jugando. Cualquier usuario, en este caso el docente pude crear y parametrizar los desafíos e invitar a los alumnos, para que una vez autenticados puedan participar. De la misma manera que vpl, los alumnos pueden compilar, depurar y ser calificados de manera automática.

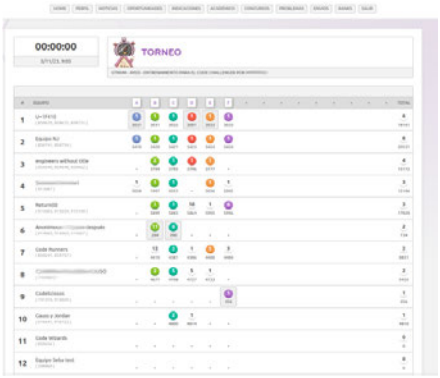



Figura 6. Resultados torneo Beecrowd

## Sistemas Operativos

Como herramientas que aporten beneficios en el proceso de enseñanza aprendizaje en esta asignatura, se tuvieron en cuenta moodle, máquina virtual Debian GNU Linux con acceso secure shell a cada uno de los estudiante. En el campus virtual, se especifican las guías de trabajos prácticos a desarrollar en la consola Linux remota. Cada usuario se conecta desde un dispositivo cliente ssh y resuelve los enunciados propuestos. Cada comando o instrucción que ingresa el alumno, es guardada en una base de datos SQLite y en el archivo /varlog/audit.log. Existe un proceso local en el sistema que a medida que los usuarios ingresan comandos, los mismos son enviados a la api de CTFD. CTFd es una plataforma de código abierto diseñada para administrar y organizar competiciones de captura de bandera. En esta oportunidad se utiliza su api para recopilar datos sobre el rendimiento de los participantes, como el número de desafíos resueltos, el tiempo tomado para resolver desafíos, y otras métricas. La Figura 7 muestra el entorno virtual utilizado en Proxmox para la asignatura Sistemas Operativos, y la Figura 8 presenta ejemplos de registros de ejercicios obtenidos del servidor.

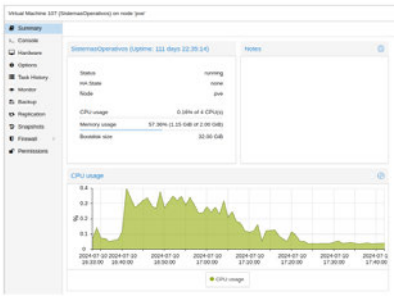


Figura 7. Máquina virtual SO Proxmox

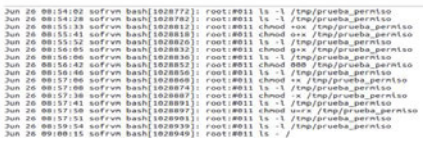


Figura 8. Logs ejercicios Sistemas Operativos

En las Figuras 9 y 10 se observan ejemplos del ranking de estudiantes y de los ejercicios prácticos realizados durante las clases.

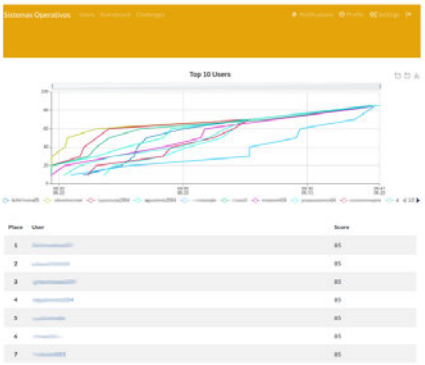



Figura 9. Ranking CTFD




Figura 10. Ejercicios Sistemas operativos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Redes de datos

Para las actividades prácticas de la asignatura Redes Datos se dispone del despliegue de diferentes sistemas operativos virtualizados en Proxmox. Las máquinas virtuales poseen interfaces de red etiquetadas en diferentes vlans y conectadas a switches virtuales. De esa manera se establece la conexión de red entre las mismas. Una de ellas, tiene un servicio vpn instalado, para que los alumnos puedan configurar para luego acceder. También tienen acceso con privilegios de administrador para la instalación de servicios tales como dhcp, dns, proxy, routers, firewall, web, entre otros. Se realizan backups diarios de las máquinas virtuales por medio de snapshots. Los alumnos pueden ingresar a través de la redirección de puertos y servicios como remote desktop. El docente posee además acceso como administrador a la configuración de las máquinas virtuales. Los enunciados de los ejercicios prácticos son especificados en documentos en el campus virtual. De esta manera los alumnos pueden contar con un laboratorio virtual de redes. Los sistemas operativos instalados son routerOS, Debian GNU/Linux, Pfsense y la familia de versiones de sistemas operativos MS Windows. A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación de estas herramientas en las distintas asignaturas. En la Figura 11 se muestran las máquinas virtuales implementadas en Proxmox, mientras que las Figuras 12 y 13 ilustran la configuración de los firewalls y los switches virtuales utilizados en las prácticas de Redes de Datos.

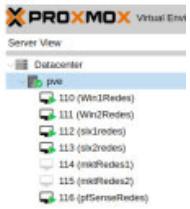



Figura 11. Máquinas virtuales Proxmox




Figura 12. Máquina virtual Firewall

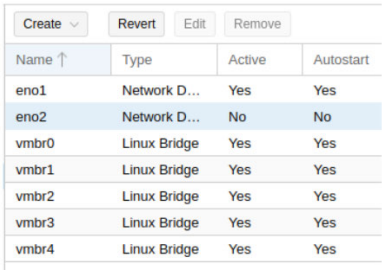



Figura 13. Switches virtuales

## 4. Resultados

Los resultados observados evidencian una mejora significativa en la comprensión y el desarrollo de actividades prácticas por parte de los estudiantes, de acuerdo con los testimonios del cuerpo docente. Las actividades diseñadas mediante estas integraciones se encuentran estrechamente alineadas con los fundamentos y contenidos de las tres asignaturas seleccionadas, lo que favorece su pertinencia académica. Asimismo, se constató un incremento en la participación y el rendimiento estudiantil. Este incremento se asocia principalmente con la inmediatez de la retroalimentación y la posibilidad de realizar prácticas en un entorno controlado y accesible. A diferencia del método tradicional, en el cual el docente carecía de un seguimiento detallado del progreso de cada alumno en cursos numerosos, la propuesta permite un monitoreo individualizado y en tiempo real. Si bien se requiere disponer de un entorno de hardware centralizado con disponibilidad permanente, su implementación no demanda una gran capacidad de recursos y no constituye una limitación para la institución. Además, la experiencia práctica se desarrolla en un entorno controlado y seguro, con bajo esfuerzo de mantenimiento, amplia participación tanto de docentes como de estudiantes, y con un sistema estable y confiable. En la siguiente sección se discuten los alcances y desafíos observados durante la aplicación de la propuesta.

## 5. Discusión

Este trabajo pretende fortalecer el desarrollo de actividades prácticas en las asignaturas Algoritmos y Estructura de Datos, Sistemas Operativos y Redes de datos con el fin de colaborar en el proceso de enseñanza-aprendizaje. El enfoque adoptado busca minimizar los requerimientos de hardware y software por parte de los alumnos, a la vez que ofrece a los docentes la posibilidad de realizar un seguimiento ágil, detallado y en tiempo real del progreso individual de los estudiantes. En comparación con los métodos tradicionales, la propuesta muestra una mejora en la accesibilidad y la equidad, ya que todos los estudiantes pueden participar en igualdad de condiciones sin la limitante de disponer equipamiento exclusivo en el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aula. Asimismo, se observó un aumento en la motivación y la participación, favorecido por la inmediatez de la retroalimentación y la cercanía de los entornos virtuales a escenarios reales de práctica profesional. Estos resultados coinciden con tendencias actuales en educación en ingeniería, donde los entornos virtuales permiten un aprendizaje más activo y autónomo por parte de los estudiantes. No obstante, la implementación también presenta desafíos, como la necesidad de garantizar la disponibilidad constante de la infraestructura y el acompañamiento docente en el uso de nuevas herramientas tecnológicas. A pesar de estas consideraciones, la experiencia resultó estable, escalable y de bajo costo de mantenimiento, lo que permite proyectar su aplicación a otras asignaturas y consolidarla como una estrategia institucional de innovación pedagógica. El desafío de esta propuesta consistió en la búsqueda, implementación, integración de herramientas tecnológicas que contribuyan al desarrollo de actividades prácticas en las asignaturas propuestas, así como también al aporte al docente es cuestiones referidas al seguimiento de dichas alternativas. Los ambientes de prácticas propuestos son simples, respetando estándares y compatibilizando las diferentes arquitecturas de los clientes utilizadas por los alumnos.

## 6. Conclusión

Uno de los objetivos principales de esta propuesta fue eliminar la necesidad de hardware y software específicos por parte de los estudiantes. La utilización de VPL Server con Moodle y Beecrowd para Algoritmos, la máquina virtual Linux con conexión SSH y API de CTFd para Sistemas Operativos, y el conjunto de máquinas virtuales para Redes, ha permitido a los estudiantes acceder a todas las herramientas necesarias desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. Esto ha democratizado el acceso al aprendizaje, eliminando barreras económicas y logísticas que podrían haber limitado la participación y el rendimiento de los alumnos. La integración de estas herramientas también ha mejorado significativamente el seguimiento y la evaluación por parte de los docentes. La API de CTFd, utilizada en la asignatura de Sistemas Operativos, ha permitido una evaluación eficiente y precisa de las competencias de los estudiantes en tiempo real. Del mismo modo, el uso de plataformas como Beecrowd y VPL en Moodle para la asignatura Algoritmos y Estructura de datos ha facilitado el monitoreo del progreso de los estudiantes y la identificación de áreas que requieren mayor atención. En la cátedra Redes de Datos, a través de los monitores de las máquinas virtuales, los docentes pueden visualizar en tiempo real las actividades de los alumnos además de verificar las configuraciones y probar conectividad entre los diferentes equipos y servicios. Este seguimiento continuo ha proporcionado a los docentes la capacidad de ajustar y personalizar la enseñanza según las necesidades individuales de los estudiantes. Las actividades prácticas diseñadas e implementadas a través de estas herramientas se han alineado adecuadamente con los objetivos y fundamentos de cada asignatura con la participación y aporte de los docentes de cada asignatura. La implementación de estas herramientas ha colaborado en la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje, haciéndolo más interactivo, accesible y efectivo. Como linea de trabajo futuro, se propone extender esta experiencia a otras asignaturas de la carrera, con el objetivo de evaluar su impacto longitudinal en el desarrollo de aprendizajes prácticos y competencias profesionales.

## 7. Referencias

[1] CSU UTN. (2022). *Diseño Curricular ISI 2023*. Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Nacional. Disponible en: https://buscadorcsu.rec.utn.edu.ar/home?documentoId=CSU**ORD**0**1877

[2] Moodle. (n.d.). *Moodle*. Moodle.org: Home. Recuperado el 11 de julio de 2024, de https://moodle.org/

[3] Vladimir Perich. (2024). *VPL*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Disponible en: https://vpl.dis.ulpgc.es/

[4] Beecrowd - Juri Online. (n.d.). *Beecrowd*. Recuperado en 2024, de https://beecrowd.com/es/

[5] Proxmox. (2024). *Proxmox VE*. Disponible en: https://www.proxmox.com/en/

[6] CTFD. (2024). *CTFD*. Disponible en: https://ctfd.io/

[7] Moodle VPL. (n.d.). *Moodle VPL Plugin*. Disponible en: https://moodle.org/plugins/mod_vpl

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# La Gestión de Operaciones como Marco Pedagógico para la Evaluación por Competencias en la asignatura de Sistemas de Gestión

***Gramajo, María Guadalupe – Dorigatti, Mariana – Hormigo, Ricardo – Rojas, Cristina***
***Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán***
***{mariagramajo, marianadorigatti , cristinarojas}@doc.frt.utn.edu.ar***
***danielhormigo@alu.frt.utn.edu.ar***

**Resumen**
*Este trabajo presenta una propuesta pedagógica que integra la Gestión de Operaciones como marco para la evaluación por competencias en la asignatura Sistemas de Gestión de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Universidad Tecnológica Nacional. El enfoque se articula con los Estándares de Segunda Generación del CONFEDI y el Diseño Curricular 2023, situando la formación en un modelo de Aprendizaje Centrado en el Estudiante y Formación por Competencias. Se destacan metodologías activas como el aprendizaje basado en problemas, proyectos interdisciplinarios y simulaciones. La asignatura se concibe como un laboratorio pedagógico donde, a través del ciclo de mejora continua Planificar-Hacer-Verificar-Actuar, los estudiantes aprenden a diagnosticar procesos, proponer mejoras y evaluar resultados. Para ello, se emplean herramientas como el Modelo y Notación de Procesos de Negocio, Indicadores Clave de Desempeño y Objetivos y Resultados Clave, Modelo de Referencia de Operaciones de la Cadena de Suministro y tableros de Inteligencia de Negocios. La evaluación se centra en desempeños auténticos y observables, promoviendo el desarrollo de competencias integrales alineadas con la práctica profesional.*

**Palabras Clave** Gestión de operaciones, evaluación por competencias, aprendizaje centrado en el estudiante.

## Introducción

La implementación del enfoque de Formación por Competencias (FPC) constituye un cambio de paradigma en la educación universitaria, orientando la enseñanza hacia el "saber hacer" y la capacidad de resolver problemas en contextos reales, más allá de la mera transmisión de conocimientos teóricos. En el caso de las carreras de Ingeniería en Argentina, un hito central lo constituyó la aprobación, en junio de 2018, de la *Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería* —conocida como *Libro Rojo del CONFEDI*— por parte del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería. Este documento consolidó el consenso sobre la necesidad de que las carreras de ingeniería adopten un modelo de enseñanza centrado en competencias y en el Aprendizaje Centrado en el Estudiante (ACE), obligando a las universidades a reestructurar sus currículos y planes de estudio en torno a este enfoque [1].

La FPC no se limita a la adquisición de saberes teóricos, sino que se fundamenta en el desarrollo integral de conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores que habiliten al futuro profesional para afrontar con solvencia los desafíos de su campo disciplinar y del entorno social y productivo [2].

## Actores y Complejidad de la Transformación Curricular

La transición hacia un modelo educativo basado en competencias requiere la articulación sinérgica de múltiples actores sociales del currículo, cada uno con roles específicos pero interdependientes:

*Nivel de determinación curricular*: Conformado por organismos estatales, el sector empresarial y otros actores sociales que definen los lineamientos esenciales y el perfil profesional requerido por el contexto socio-productivo.

*Nivel de estructuración formal*: Integrado por comisiones curriculares y secretarías académicas responsables de otorgar coherencia, secuencialidad y estructura sistemática a los planes de estudio.

*Nivel de desarrollo curricular*: Constituido por docentes y estudiantes como protagonistas de la materialización práctica de las innovaciones pedagógicas en el aula.

Esta interacción multinivel exige diseñar sistemas de gestión curricular robustos que posibiliten la implementación coherente y efectiva de la FPC y el ACE, especialmente en carreras tecnológicas que demandan actualización permanente frente al vertiginoso avance científico-tecnológico [3].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Aprendizaje Centrado en el Estudiante y Evaluación por Competencias

El modelo de FPC se articula intrínsecamente con el ACE, paradigma que posiciona al estudiante como protagonista activo de su proceso formativo. Este enfoque prioriza metodologías activas que promueven el aprendizaje significativo:

- Aprendizaje Basado en Problemas
- Estudios de caso empresariales
- Simulaciones y gamificación
- Proyectos integradores interdisciplinarios
- Prácticas profesionalizantes

En este marco, la evaluación trasciende la mera acreditación de contenidos para enfocarse en el desarrollo integral de competencias. Se requiere una evaluación formativa, continua y auténtica que considere las dimensiones cognitivas, procedimentales y actitudinales, coherente con la complejidad de los contextos profesionales que enfrentarán los futuros ingenieros [4].

## Estándares Curriculares y Competencias en Ingeniería en Sistemas de Información

El Diseño Curricular 2023 de Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN se construye sobre los lineamientos del CONFEDI y las resoluciones ministeriales vigentes (RM 1254/2018; RM 1557/2021 y RM 1575/2022). Dicho plan establece un perfil profesional basado en competencias genéricas y específicas que aseguran una formación equilibrada entre ciencias básicas, tecnologías aplicadas y habilidades de gestión.

*Competencias genéricas*

Abarcan dimensiones transversales como la resolución de problemas complejos de ingeniería, gestión integral de proyectos, comunicación efectiva multicultural, ética profesional, responsabilidad social y aprendizaje autónomo continuo.

*Competencias específicas*

Se focalizan en el diseño, desarrollo, implementación y control de sistemas de información, arquitecturas de software, infraestructura tecnológica, seguridad informática, calidad de software y gestión de datos.

Para llevar estas competencias a la práctica áulica y convertirlas en aprendizajes situados, la asignatura Sistemas de Gestión adopta como estrategia metodológica el enfoque de la gestión de operaciones, concebido como un modelo que estructura la práctica profesional en ciclos




**Figura 1. Gestión de Operaciones como Marco Pedagógico.**

iterativos de planificación, ejecución, control y mejora continua (PDCA) [5,6] (Ver Figura 1).

Esta perspectiva pedagógica traslada al aula la lógica propia de las organizaciones, de modo que los estudiantes no solo incorporen conocimientos teóricos, sino que también experimenten y practiquen la dinámica de procesos integrados, vinculando cada actividad académica con situaciones reales de diagnóstico, gestión y mejora de procesos.

En este marco, la asignatura Sistemas de Gestión constituye un eje articulador entre lo técnico y lo organizacional. Su aporte al perfil de egreso se refleja en la capacidad de los estudiantes para diseñar y aplicar sistemas que optimicen procesos de negocio, establezcan indicadores de calidad, gestionen recursos y evalúen riesgos en escenarios reales. La evaluación por competencias en esta asignatura implica que los estudiantes no solo dominen los marcos normativos o metodológicos de gestión, sino que sean capaces de demostrar desempeños observables: diagnosticar problemáticas organizacionales, proponer soluciones factibles, liderar equipos de trabajo y articular decisiones técnicas con criterios de sostenibilidad y responsabilidad social.

El proceso formativo, concebido de este modo, funciona como una simulación de un sistema organizacional real: los estudiantes se enfrentan a situaciones que requieren planificar procesos, diseñarlos y representarlos con herramientas como Modelo y Notación de Procesos de Negocio (BPMN) o mapas de procesos, y posteriormente evaluar su desempeño mediante indicadores clave de desempeño (KPI) y objetivos y resultados clave (OKR). Al avanzar en la cursada, no se limitan a ejecutar actividades aisladas, sino que aprenden a detectar desviaciones, proponer mejoras y reconfigurar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



procesos, reproduciendo en el aula la lógica de la mejora continua aplicada en la gestión empresarial.

En este marco, la evaluación por competencias deja de ser un mecanismo de verificación de contenidos memorizados para convertirse en un dispositivo de validación de desempeños auténticos. Esto implica observar en los estudiantes no solo su capacidad cognitiva, sino también su aptitud para:

- Diagnosticar problemáticas organizacionales (paralelo a la fase de análisis en operaciones).
- Proponer soluciones factibles y viables (en sintonía con la toma de decisiones estratégicas).
- Liderar equipos de trabajo y coordinar roles (reflejo de la gestión colaborativa en proyectos).
- Articular decisiones técnicas con criterios éticos, de sostenibilidad y responsabilidad social (alineados con los actuales estándares de calidad y gestión organizacional).

Este paralelismo convierte la materia en un auténtico laboratorio de integración sistémica, donde se cruzan teoría, práctica y evaluación en un mismo flujo. Cada actividad de aprendizaje funciona como un "proceso" dentro del sistema mayor de la cursada: tiene entradas (conocimientos previos, recursos), un desarrollo (prácticas, proyectos) y salidas (competencias evidenciadas en el desempeño). Así, la innovación pedagógica radica en que el aula reproduce las condiciones de la gestión de operaciones, ofreciendo al estudiante un entrenamiento realista y situado, altamente pertinente para su futura práctica profesional.

Abordar la asignatura Sistemas de Gestión desde el enfoque de la gestión de operaciones implica que los instrumentos de evaluación deben acompañar la lógica de PDCA garantizando así una coherencia entre lo que se enseña, aprende y evalúa.

A continuación, se detallan los instrumentos de evaluación específicos para cada tema central de la materia, con el fin de alinear las actividades académicas con el desarrollo de competencias observables y auténticas, en concordancia con el perfil de egreso de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información.

## Contenidos de Sistemas de Gestión e instrumentos de evaluación

Los contenidos de Sistemas de Gestión requieren no solo una exposición conceptual, sino también la selección de instrumentos que permitan validar el desarrollo de competencias de forma objetiva y situada. En este sentido, resulta clave vincular cada tema central de la asignatura con actividades de evaluación que repliquen la práctica profesional, favoreciendo la transferencia de conocimientos al contexto real (ver Anexo,Tabla 1).

La propuesta organiza los contenidos en función de las competencias a desarrollar y establece para cada una un instrumento específico de evaluación, acompañado de criterios claros que garantizan transparencia, coherencia pedagógica y pertinencia respecto al perfil de egreso. De esta manera, la asignatura se constituye en un espacio donde el aprendizaje se valida mediante desempeños auténticos, integrando teoría, práctica y reflexión en un mismo proceso formativo.

Cada herramienta propuesta trasciende la mera verificación de aprendizajes para convertirse en una instancia donde los estudiantes ejercitan la planificación, el análisis crítico, la toma de decisiones y la mejora continua en escenarios cercanos a la práctica profesional. Este modelo transforma la evaluación en un dispositivo formativo y auténtico, alineado con los estándares de calidad educativa y las demandas del ejercicio ingenieril, sentando las bases para una propuesta replicable en otras asignaturas de gestión dentro de la formación en ingeniería.

## Conclusiones

La propuesta de abordar la asignatura Sistemas de Gestión desde el enfoque de la gestión de operaciones permite integrar de manera coherente la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación por competencias. Al trasladar al aula la lógica del ciclo PDCA (planificación, ejecución, control y mejora continua), la materia se transforma en un laboratorio pedagógico donde se simulan procesos organizacionales reales, superando la mera transmisión de contenidos aislados. Esta perspectiva convierte cada actividad académica en un "proceso" con entradas, desarrollo y salidas identificables, reproduciendo las condiciones de trabajo que los estudiantes enfrentarán en su ejercicio profesional.

Este enfoque fortalece el perfil de egreso definido en el Diseño Curricular 2023 de la UTN al asegurar el desarrollo de competencias auténticas: diagnosticar problemáticas organizacionales, diseñar y mejorar procesos, implementar indicadores de desempeño, integrar herramientas tecnológicas y tomar decisiones fundamentadas en contextos dinámicos. La utilización de instrumentos de evaluación alineados al PDCA garantiza que cada actividad de aula se constituya en una instancia de evidencia de desempeño, favoreciendo la transparencia, pertinencia y calidad del proceso formativo. Además, este modelo promueve el desarrollo de habilidades metacognitivas al exigir que los estudiantes reflexionen sobre sus propios procesos de aprendizaje, identifiquen desviaciones respecto a los objetivos planteados y propongan ajustes, tal como lo harían en un entorno organizacional real.

La propuesta también responde al desafío de formar profesionales capaces de gestionar la complejidad y la incertidumbre propias del contexto actual. Al trabajar con casos reales, herramientas tecnológicas vigentes y metodologías de mejora continua, los estudiantes

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



desarrollan una visión sistémica que les permite integrar aspectos técnicos, organizacionales, éticos y de sostenibilidad en sus decisiones. Esta formación integral resulta esencial para ingenieros en sistemas de información que deberán liderar procesos de transformación digital en organizaciones diversas.

En síntesis, esta propuesta pedagógica no solo da cumplimiento a los estándares del CONFEDI y el Ministerio de Educación, sino que ofrece un modelo replicable para otras asignaturas de gestión en carreras de ingeniería. Al articular teoría, práctica y evaluación en un flujo continuo, promueve una formación integral, situada y alineada con las demandas reales del entorno profesional.

## Referencias

[1] CONFEDI, *Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería (Libro Rojo)*, Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina, 2018.

[2] Tobón, S., *Formación integral y competencias: pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación*, Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones, 2013

[3] Villa, A., and Poblete, M., *Aprendizaje basado en competencias*, Bilbao, España: Universidad de Deusto, 2007.

[4] Biggs, J., and Tang, C., *Teaching for Quality Learning at University*, 4th ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2011.

[5]Arroyo, J. C., *Gestión de operaciones: fundamentos y aplicaciones*, México: Alfaomega, 2015.

[6] Adam, E. E., and Ebert, R. J., *Administración de operaciones*, México: Pearson Educación, 2017.

[7] Universidad Tecnológica Nacional, *Diseño Curricular de Ingeniería en Sistemas de Información – Plan 2023 (Ordenanza 1877)*, Consejo Superior UTN, Buenos Aires, Argentina, 2022.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Anexo

**Tabla 1. Contenidos de Sistemas de Gestión e instrumentos de evaluación**

| | Competencia a evaluar | Instrumento de evaluación | Criterios de evaluación (rúbrica) |
|---|---|---|---|
| **Planificación de proyectos y arquitectura empresarial** | Capacidad de planificar, organizar y modelar un proyecto con herramientas digitales. | Informe de planificación en Trello/Planner + presentación oral de la arquitectura empresarial. | Claridad en objetivos, coherencia entre tareas y tiempos, uso de herramientas digitales, calidad de la exposición. |
| **Gestión por procesos (BPM/BPMN)** | Definir, modelar y representar procesos organizacionales. | Mapa de procesos + diagramas BPMN elaborados en equipo. | Correcta identificación de entradas/salidas, representación gráfica, alineación con objetivos organizacionales. |
| **Gestión del desempeño (KPI/OKR)** | Definir e implementar indicadores de gestión. | Tablero de control de KPIs (Excel, Power BI u otra herramienta). | Relevancia de los indicadores, consistencia con procesos, capacidad de análisis y propuesta de mejora. |
| **Cadena de suministro y modelo SCOR** | Analizar e integrar procesos en la cadena de valor. | Estudio de caso SCOR con propuesta de optimización. | Identificación de procesos críticos, integración de actores de la cadena, viabilidad de la propuesta. |
| **Gestión del conocimiento (SECI) y TI (ITIL/COBIT)** | Diseñar procesos de captura, almacenamiento y aplicación del conocimiento. | Mapa mental de GC + reporte sobre niveles de madurez TI. | Pertinencia de los modelos seleccionados, claridad en la representación, capacidad de aplicar marcos de referencia. |
| **Procesos y modelos de decisión** | Tomar decisiones bajo certeza, riesgo e incertidumbre. | Resolución de caso práctico de decisión (árbol de decisión + justificación). | Correcta aplicación de modelos, coherencia de la decisión, fundamentación con criterios cuantitativos. |
| **Sistemas de soporte a la decisión (DSS, BI)** | Integrar herramientas de BI y DSS en la toma de decisiones. | Mini-proyecto en BI (ej. dashboard en Power BI o Excel con OLAP). | Pertinencia de los datos, visualización clara, conclusiones fundamentadas. |
| **Trabajo de campo integrador** | Integrar los aprendizajes en un contexto real. | Proyecto final grupal con diagnóstico, propuesta y plan de mejora. | Coherencia global, factibilidad técnica y organizacional, integración de aspectos éticos, sociales y de sostenibilidad. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Comparación y selección de metodologías para el desarrollo de Objetos Virtuales de Aprendizaje con Realidad Aumentada en Educación Superior

*Marcela Viviana Fernandez, Eugenia Patricia Alfonso, Silvana Verónica Sander*
*Rodolfo Mauricio Ponzo, Jorge Alberto Abraham*
*Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza*
marcela.fernandez@docentes.frm.utn.edu.ar, eugenia.alfonso@docentes.frm.utn.edu.ar,
silvana.sander@docentes.frm.utn.edu.ar, rodolfo.ponzo@docentes.frm.utn.edu.ar,
jorge.abraham@docentes.frm.utn.edu.ar

## Resumen

*El desarrollo de objetos virtuales de aprendizaje* (OVA) *con inclusión de recursos de realidad aumentada (RA) constituye una de las tendencias actuales en innovación educativa. Sin embargo, su implementación no siempre logra los resultados de aprendizaje esperados, debido principalmente a la ausencia de metodologías sistemáticas que guíen el proceso de diseño y desarrollo. En este trabajo se presentan los resultados de una investigación documental y comparativa que analiza siete metodologías aplicadas al desarrollo de OVA con RA. El estudio se centró en la revisión de fuentes recientes, el análisis de fortalezas y debilidades de cada metodología y la definición de criterios para su comparación. Los resultados muestran que la elección de la metodología no puede abordarse desde una lógica única o universal y que depende de los factores prioritarios definidos por el docente*

***Palabras clave:*** *Objetos virtuales de aprendizaje, metodologías, realidad aumentada.*

## Introducción

El avance de las tecnologías digitales ha transformado los procesos de enseñanza y aprendizaje en la educación superior. Entre estas innovaciones se destacan los Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVA), recursos digitales que se caracterizan por su reutilización, modularidad e interactividad. Su aplicación en entornos virtuales ha permitido diversificar los modos de enseñar, incrementando la autonomía del estudiante.

En los últimos años, la Realidad Aumentada (RA) ha comenzado a integrarse en los OVA, ofreciendo experiencias inmersivas que potencian la motivación y la comprensión de conceptos complejos. La RA facilita la vinculación de lo teórico con lo práctico, al permitir la manipulación de modelos tridimensionales y la interacción en tiempo real.

Sin embargo, la literatura advierte que los resultados de aprendizaje no siempre son satisfactorios, principalmente porque muchos OVA se desarrollan sin metodologías sistemáticas. La falta de criterios pedagógicos y de diseño lleva a productos poco efectivos, lo que reduce su impacto en el aprendizaje. Por ello, surge la necesidad de identificar, analizar y comparar metodologías aplicables al desarrollo de OVA con RA, con el fin de brindar a los docentes marcos de referencia que orienten la selección de enfoques más adecuados.

## Objetivos

Este trabajo pretende proporcionar un mecanismo comparativo, basado en criterios definidos, para evaluar diferentes metodologías de desarrollo de OVA con contenidos de RA y ayudar a determinar la más adecuada a las necesidades del contexto educativo universitario.

Para esto se proponen los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Identificar metodologías relevantes para el desarrollo de OVA en educación superior.
- ✓ Clasificarlas en tradicionales, ágiles y emergentes.
- ✓ Definir criterios de comparación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- ✓ Analizar comparativamente las metodologías seleccionadas.
- ✓ Proponer un método para seleccionar la mejor alternativa.

## Aspectos metodológicos

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas con el propósito de ofrecer una visión integral sobre las metodologías aplicables al desarrollo de objetos virtuales de aprendizaje con contenidos de realidad aumentada. El carácter cualitativo permitió realizar un análisis descriptivo y narrativo de las fortalezas y debilidades de cada metodología, mientras que el componente cuantitativo aportó rigor en la comparación mediante la aplicación de escalas numéricas y ponderaciones.

El procedimiento se inició con una revisión documental de literatura especializada publicada en los últimos años, a partir de la cual se identificaron las metodologías más relevantes para el contexto educativo universitario. La selección incluyó tanto metodologías tradicionales de diseño instruccional (ADDIE, SAM y Dick & Carey), como metodologías ágiles (Scrum, UPV4VED) y enfoques emergentes centrados en la experiencia del usuario (Design Thinking y Learning Experience Design). Este abanico de enfoques permitió abarcar distintas perspectivas de desarrollo: unas orientadas a la rigurosidad pedagógica, otras a la eficiencia en la gestión del proyecto y otras a la innovación centrada en el estudiante.

Posteriormente, se definieron un conjunto de criterios de comparación derivados tanto de la literatura como de las necesidades observadas en la práctica docente universitaria. Estos criterios incluyeron: eficiencia en el proceso de desarrollo, calidad pedagógica, usabilidad y experiencia del usuario, impacto en el aprendizaje, flexibilidad y capacidad de iteración, coste de desarrollo, participación de actores educativos, integración tecnológica y compatibilidad, escalabilidad y sostenibilidad de los productos, y nivel de inmersión y accesibilidad de la realidad aumentada.

Para la valoración se emplearon dos estrategias complementarias. En primer lugar, se realizó una evaluación cualitativa mediante la asignación de descriptores globales (alto, medio y bajo) que permitieron sintetizar la posición relativa de cada metodología frente a los criterios. En segundo lugar, se aplicó una evaluación cuantitativa, asignando a cada metodología una puntuación en una escala de 1 a 5 por cada criterio. Con el fin de reflejar las prioridades de los docentes, a los criterios se les asignaron pesos diferenciales cuya suma total fue igual a uno.

Con estas ponderaciones se aplicó un modelo matemático para obtener una puntuación global para cada metodología:

El procedimiento de análisis siguió varias fases: (a) revisión documental, (b) identificación de metodologías pertinentes, (c) definición de criterios, (d) valoración cualitativa, (e) aplicación de escalas cuantitativas y cálculo de puntuaciones ponderadas, (f) construcción de tablas comparativas y, finalmente, (g) interpretación de los resultados.

La aplicación de este proceso metodológico se realizó en el marco de experiencias piloto con estudiantes de educación superior en carreras de ingeniería.

## Marco teórico

### 1. Metodologías de desarrollo

El desarrollo de OVA con integración de recursos de RA requiere metodologías que orienten tanto el diseño pedagógico como la construcción tecnológica. La literatura especializada identifica tres grandes enfoques aplicables: metodologías ágiles de desarrollo de software, modelos clásicos de diseño instruccional y enfoques emergentes centrados en la experiencia del usuario.

#### a) Metodologías ágiles

Las metodologías ágiles se caracterizan por su orientación a la flexibilidad, la iteración y el prototipado rápido. En lugar de seguir procesos lineales y rígidos, estas metodologías promueven ciclos cortos de diseño, prueba y ajuste, lo que facilita la adaptación a cambios en los contenidos, las necesidades del estudiante o los recursos tecnológicos disponibles. Su fortaleza principal radica en la capacidad de ofrecer resultados parciales en plazos reducidos, lo que permite retroalimentación temprana y mejora continua.

**Scrum** es una metodología que se ha consolidado como una de las metodologías ágiles más utilizadas en el ámbito del desarrollo de software, y su aplicación se ha extendido a contextos educativos [18]. Se basa en la planificación y ejecución de ciclos cortos denominados sprints, que permiten entregar versiones funcionales parciales del producto. En el caso de los OVA con RA, esta dinámica favorece la detección temprana de problemas técnicos y de usabilidad, ya que los estudiantes

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



y docentes pueden interactuar con prototipos preliminares y retroalimentar el proceso de construcción.

La metodología **UPV4VED (Unified Process for Virtual Learning Object Design and Development)** surge como una adaptación del Proceso Unificado de Software (UP) específicamente orientada al diseño de OVA. Su estructura mantiene las fases de inicio, elaboración, construcción, transición y evaluación, pero las adapta a las necesidades pedagógicas de los objetos de aprendizaje. A diferencia de Scrum, que prioriza la velocidad, UPV4VED busca integrar desde el inicio la evaluación pedagógica, garantizando que los OVA cumplan con los objetivos de aprendizaje definidos. Este modelo es especialmente útil en contextos de educación superior donde se requiere asegurar la coherencia entre competencias académicas y recursos digitales.

**b) Modelos de diseño instruccional**

Estos modelos parten de un enfoque sistemático y planificado, con fases claramente definidas que van desde el análisis de necesidades hasta la evaluación de resultados. Su principal valor reside en garantizar la coherencia pedagógica y asegurar que los objetivos de aprendizaje, los contenidos, las actividades y la evaluación se encuentren alineados. Aunque suelen ser más estructurados y menos flexibles que las metodologías ágiles, aportan solidez teórica y una base pedagógica robusta para el desarrollo de recursos educativos.

El modelo **ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation)** es una de las referencias más clásicas en diseño instruccional [15]. Su lógica secuencial asegura un proceso ordenado: se parte del análisis de necesidades, se diseña la estrategia pedagógica, se desarrolla el material, se implementa y, finalmente, se evalúa. La simplicidad del modelo y la flexibilidad para la inclusión de diversos factores es lo que le confiere eficacia [14], dado que las etapas pueden sucederse de forma simultánea o bien de manera ascendente o simultánea a la vez [21]. Para OVA con RA, resulta útil porque garantiza una alineación sólida entre objetivos de aprendizaje, actividades y evaluaciones.

Como alternativa a ADDIE, Allen [2] propuso el **Successive Approximation Model (SAM),** que conserva la lógica del diseño instruccional, pero con un enfoque iterativo y ágil. SAM plantea ciclos de prototipado rápido que permiten validar ideas con usuarios finales en fases tempranas, reduciendo riesgos y mejorando la eficiencia. En el desarrollo de OVA con RA, SAM aporta la ventaja de poder testear tempranamente elementos de interacción y accesibilidad.

El **modelo de Dick & Carey** es uno de los enfoques más sistemáticos de diseño instruccional [9]. Este modelo utiliza el enfoque de sistemas para el diseño de la instrucción. El modelo describe todas las fases de un proceso interactivo, que inicia con la definición clara de metas instruccionales, el análisis de los estudiantes y el contexto, para luego diseñar estrategias, desarrollar materiales y someterlos a evaluaciones formativas y sumativas. Su aplicación al desarrollo de OVA garantiza un alto rigor pedagógico y una alineación precisa con competencias de aprendizaje [11].

**c) Enfoques emergentes centrados en la experiencia**

Actualmente han surgido enfoques que colocan al estudiante en el centro del proceso de diseño, priorizando la motivación, la usabilidad y la experiencia de aprendizaje. Estos enfoques buscan crear entornos significativos y atractivos, en los que la participación activa y la interacción con tecnologías como la realidad aumentada se convierten en elementos clave. Su mayor aporte es el énfasis en la accesibilidad, la inclusión y la creación de experiencias que trascienden lo meramente instruccional, favoreciendo el compromiso y la construcción activa del conocimiento.

El **Design Thinking** es un enfoque centrado en el usuario que promueve la empatía, la creatividad y la experimentación en el diseño de soluciones [6]. Se estructura en cinco fases: empatizar, definir, idear, prototipar y probar. Su mayor aporte en el desarrollo de OVA con RA radica en la generación de productos altamente usables, inclusivos y atractivos.

El **Learning Experience Design (LXD)** constituye una propuesta reciente que combina el diseño instruccional con el diseño de experiencias de usuario [5]. Su objetivo es crear experiencias de aprendizaje significativas y motivadoras, considerando tanto la accesibilidad como la inclusión. En OVA con RA, LXD es especialmente pertinente porque permite diseñar experiencias inmersivas que no solo son técnicamente sólidas, sino también pedagógicamente relevantes.

## 2. Criterios para comparar metodologías

Para llevar a cabo un análisis comparativo de las metodologías seleccionadas fue necesario establecer un conjunto de criterios que permitieran valorar su pertinencia en el desarrollo de OVA con RA. Dichos criterios fueron definidos en base a literatura especializada y experiencias reportadas en proyectos educativos.

En primer lugar, se consideró la **eficiencia en el proceso de desarrollo (C1)**, entendida como la capacidad de generar prototipos o productos funcionales en tiempos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



acordes a los calendarios académicos. Este criterio resulta especialmente importante en el contexto universitario, donde los recursos temporales suelen ser limitados y las asignaturas requieren resultados concretos en plazos definidos [2].

Otro criterio fundamental es la **calidad pedagógica (C2)**, que implica la alineación entre los objetivos de aprendizaje, las actividades propuestas y la evaluación de resultados. Una metodología que no garantice esta coherencia corre el riesgo de producir OVA técnicamente atractivos, pero poco efectivos en términos educativos [10].

Asimismo, se incorporó el criterio de **usabilidad y experiencia del usuario (C3)**, ya que un OVA con RA debe ofrecer una navegación intuitiva, accesible e inclusiva. Este aspecto cobra relevancia en tecnologías emergentes, donde las interfaces pueden ser complejas y representar una barrera para el aprendizaje si no son adecuadamente diseñadas [16].

El **impacto en el aprendizaje (C4)** constituye otro criterio clave. No se trata únicamente de generar recursos innovadores, sino de evaluar si efectivamente contribuyen a mejorar la comprensión y la retención del conocimiento. Estudios recientes sobre RA en educación han demostrado que la motivación y la interacción con contenidos inmersivos inciden positivamente en los aprendizajes, siempre que exista un diseño pedagógico sólido [1].

Un aspecto complementario es la **flexibilidad y capacidad de iteración (C5)** de la metodología. Dado que los proyectos educativos suelen enfrentar cambios en objetivos o en la disponibilidad de recursos, la posibilidad de ajustar el proceso resulta esencial. Metodologías ágiles como Scrum o SAM se destacan en este aspecto [18].

Se incluyó también el **costo de desarrollo (C6)**, considerando tanto recursos humanos como materiales. Si bien una metodología puede ser óptima desde el punto de vista pedagógico, su viabilidad depende de que el costo sea asumible en el contexto institucional [12].

La **participación de actores educativos (C7)** fue otro criterio de análisis, dado que la inclusión de docentes y estudiantes en el proceso de diseño garantiza mayor pertinencia y aceptación del OVA. Enfoques como Design Thinking y LXD resaltan en este aspecto al promover la empatía y la cocreación [6-19].

Se contempló además la **integración tecnológica y compatibilidad (C8)**, que alude a la capacidad de la metodología de asegurar que los OVA puedan implementarse en los dispositivos y plataformas disponibles en el entorno educativo. Este criterio es crucial en el caso de la RA, cuya efectividad depende de la compatibilidad técnica entre software, hardware y condiciones de uso [17].

Otro criterio para tener en cuenta es la **escalabilidad y sostenibilidad (C9)** referido a la capacidad de la metodología para generar OVA que puedan reutilizarse, adaptarse o actualizarse cuando cambian las tecnologías de RA. Este criterio permite considerar la rápida evolución tecnológica asociada a la RA ya que, sin sostenibilidad, los OVA quedarían obsoletos en poco tiempo.

Por último, se incluye el **nivel de inmersión y accesibilidad de la RA (C10)** para considerar qué tan bien la metodología permite integrar RA de manera inmersiva pero accesible para todos los estudiantes. Las experiencias altamente inmersivas deben equilibrarse con accesibilidad y disponibilidad de dispositivos [7].

## Comparación de metodologías

El desarrollo de objetos virtuales de aprendizaje (OVA) con contenidos de realidad aumentada (RA) exige un abordaje metodológico que combine rigurosidad pedagógica, innovación tecnológica y diseño centrado en la experiencia del usuario. Tradicionalmente, los modelos de diseño instruccional como ADDIE o Dick & Carey han garantizado coherencia entre objetivos, contenidos y evaluación, aunque suelen presentar limitaciones en términos de flexibilidad y rapidez de implementación. Por otro lado, enfoques más ágiles como SAM y Scrum aportan iteración y prototipado rápido, lo cual resulta particularmente valioso en proyectos de RA, donde los ajustes técnicos y pedagógicos son frecuentes. En la última década han surgido enfoques híbridos como UPV4VED, que integra dimensiones pedagógicas, tecnológicas y evaluativas, y propuestas emergentes como Learning Experience Design (LXD) y Design Thinking, que priorizan la motivación, la accesibilidad y la participación activa del estudiante.

La literatura reciente evidencia la necesidad de actualizar la mirada sobre estas metodologías. Se han encontrado trabajos que muestran que la combinación de RA y gamificación potencia la inclusión de estudiantes con discapacidades, resaltando la importancia de la usabilidad y el diseño accesible [8]. Otros que señalan que las metodologías ágiles aplicadas a la educación mejoran la eficiencia y la adaptabilidad, cualidades esenciales en entornos donde la RA requiere constantes ajustes [4]. Asimismo, otros autores destacan que el diseño instruccional tras la pandemia incorporó mayor interactividad y soporte al usuario, lo que refuerza la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



necesidad de considerar la experiencia del estudiante como núcleo del proceso [20]. Finalmente, estudios recientes sobre Learning Experience Design evidencian su potencial en educación superior, especialmente en ingeniería, al integrar espacios maker, co-diseño y tecnologías emergentes [3-13].

Con base en estos antecedentes, se estableció un proceso de comparación estructurada de metodologías para determinar su pertinencia relativa en el desarrollo de OVA con RA. Para ello, se definieron criterios que abarcan dimensiones pedagógicas (calidad, impacto en el aprendizaje, participación educativa), tecnológicas (integración, escalabilidad, inmersión en RA) y operativas (eficiencia, costo, flexibilidad, usabilidad). La selección de estos criterios, que responde tanto a la revisión teórica como a las experiencias tomadas de la práctica, permitieron establecer una base sistemática para evaluar comparativamente las metodologías y fundamentar la selección de aquellas más adecuadas para el desarrollo de OVA con RA en educación superior.

El análisis comparativo de las metodologías se realizó desde dos enfoques complementarios: cualitativo y cuantitativo.

En primer lugar, la comparación cualitativa permitió identificar las fortalezas y debilidades de cada metodología en relación con los criterios definidos.

**Tabla 1. Comparación cualitativa de metodologías**

| | Metodologías | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Criterio** | **M1** | **M2** | **M3** | **M4** | **M5** | **M6** | **M7** |
| **C1** | A | M | B | A | B | M- | M |
| **C2** | M | A | A | M+ | A | M | A |
| **C3** | M | M+ | M+ | M+ | M+ | A | A |
| **C4** | M+ | A | M+ | M+ | M+ | A | A |
| **C5** | A | M+ | M- | A | M- | M | M |
| **C6** | M | M | M | M+ | M | B | B |
| **C7** | M | M | M | M+ | M | A | A |
| **C8** | A | M+ | M | M+ | M | A | A |
| **C9** | M | M+ | M | M+ | M | M- | M+ |
| **C10** | M | M+ | M | M+ | M | A | A |

Como se puede observar en la Tabla 1, se utilizó una escala de valoración descriptiva -alto (A), medio (M), bajo (B)-, la cual brinda una visión general del desempeño relativo de cada enfoque. En dicha tabla, se utilizan las siguientes convenciones para referenciar las distintas metodologías: M1= Scrum, M2=SAM, M3=ADDIE, M4=Dick & Carey, M5=Design Thinking, M6=Learning Experience Design y M7= UPV4VED.

Por ejemplo, en términos de flexibilidad, metodologías ágiles como Scrum y SAM fueron calificadas como “altas”, mientras que ADDIE y Dick & Carey se ubicaron en un nivel “bajo” por su carácter lineal y poco adaptable. Esta aproximación cualitativa resulta especialmente útil para docentes que requieren un panorama rápido y sintético.

Por otro lado, se aplicó una comparación cuantitativa mediante la asignación de puntajes

**Tabla 2. Comparación cuantitativa de metodologías**

| | Metodologías | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Criterio** | **M1** | **M2** | **M3** | **M4** | **M5** | **M6** | **M7** |
| **C1** | **5** | **3** | **1** | **5** | **1** | **2** | **3** |
| **C2** | **3** | **5** | **5** | **4** | **5** | **3** | **5** |
| **C3** | **3** | **4** | **4** | **4** | **4** | **5** | **5** |
| **C4** | **4** | **5** | **4** | **4** | **4** | **5** | **5** |
| **C5** | **5** | **4** | **2** | **5** | **2** | **3** | **3** |
| **C6** | **3** | **3** | **3** | **4** | **3** | **1** | **1** |
| **C7** | **3** | **3** | **3** | **4** | **3** | **5** | **5** |
| **C8** | **5** | **4** | **3** | **4** | **3** | **5** | **5** |
| **C9** | **3** | **4** | **3** | **4** | **3** | **2** | **4** |
| **C10** | **3** | **4** | **3** | **4** | **3** | **5** | **5** |

En la Tabla 2 se puede observar que se utilizó una escala de 1 a 5, donde 1 representa un desempeño muy bajo y 5 un desempeño muy alto (Tabla 2). Esta valoración numérica permitió aplicar un modelo matemático que incorpora una ponderación de los criterios para calcular una puntuación global para cada metodología. En el caso de criterios como “Costo” en el que el mejor es el de menor costo se usó un puntaje invertido (1 para costos altos y 5 para costos bajos).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Procedimiento para la selección de una metodología

Con el fin de realizar una comparación más objetiva entre las metodologías analizadas, se definió el siguiente procedimiento que permite calcular una puntuación global para cada una. Este procedimiento ofrece un marco sistemático para orientar la selección metodológica de acuerdo con las prioridades establecidas por el docente:

1. Determinar las metodologías a comparar y determinar m, en donde m representa el número de metodologías.
2. Definir un conjunto de criterios (n criterios).
3. Para cada criterio, el docente asigna un peso $p_i$ que representa la importancia relativa del mismo tal que:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1.0$$

4. Para cada metodología (m) y cada criterio (i), se asigna una puntuación $r_{m,i}$ utilizando una escala común.

   $r_{m,i} \in \{1,2,3,4,5\}$ en donde 1 bajo – 5 muy alto

   En caso de ser necesario, normalizar r (si se usan escalas diferentes), o convertir costos a escala donde "mayor = mejor".

5. Se calcula la puntuación ponderada para cada metodología con la siguiente fórmula:

$$PP = \sum_{i=1}^{n} p_i . r_{m,i}$$

6. Se ordenan las metodologías teniendo en cuenta los valores de PP.
7. Se selecciona la de mejor puntuación.

Este procedimiento permite ajustar dinámicamente la evaluación según el contexto educativo. Por ejemplo, si la prioridad del docente es garantizar el rigor pedagógico, se asignará mayor peso a ese criterio, lo que favorecerá metodologías como ADDIE o LXD. En cambio, si la necesidad principal es la rapidez en el desarrollo, metodologías como Scrum o SAM obtendrán un puntaje superior.

El uso de esta fórmula posibilita, además, que los resultados comparativos no dependan únicamente de juicios cualitativos, sino que se integren en un modelo cuantitativo y flexible, adaptable a distintos escenarios de enseñanza universitaria.

## Resultados

La aplicación del modelo de ponderación permitió constatar que la elección de la metodología más apropiada para el desarrollo de OVA con RA no es absoluta, sino que depende en gran medida de las prioridades definidas por el docente y del contexto de aplicación. Para mostrar esta variabilidad, se construyeron distintos casos de simulación en los que se modificaron los pesos asignados a los criterios de comparación.

En el primer caso, se otorgó mayor peso a la calidad pedagógica y al impacto en el aprendizaje, un peso medio a la eficiencia y usabilidad, y un peso menor al coste, participación e integración tecnológica. En este escenario, la metodología SAM alcanzó la mayor puntuación global (3,40), seguida por LXD (3,36) y UPV4VED (3,26). La conclusión fue que el docente debía aplicar la metodología SAM, dado que combina la posibilidad de prototipado rápido con un adecuado nivel de alineación pedagógica.

En un segundo caso, se planteó un perfil de docente orientado a la innovación tecnológica, quien asignó la mayor ponderación a los criterios de integración tecnológica, escalabilidad e inmersión de la RA. Aquí, la metodología con mejor desempeño fue LXD (3,55), seguida por Design Thinking (3,42) y Scrum (3,20). Este resultado se explica porque LXD integra de manera más natural la experiencia del usuario y la incorporación de tecnologías emergentes, garantizando sostenibilidad y motivación.

Un tercer caso consideró a un docente centrado en el rigor pedagógico, quien priorizó la calidad pedagógica y el impacto en el aprendizaje. En este escenario, la metodología más adecuada fue UPV4VED (3,40), seguida por Dick & Carey (3,20) y ADDIE (3,10). Estas metodologías tradicionales e híbridas permiten asegurar coherencia pedagógica y consistencia en la planificación instruccional, lo cual es valorado por este perfil de docente.

En el cuarto caso, se analizó el perfil de un docente con restricciones de tiempo y recursos, que priorizó la eficiencia y el coste. En este contexto, la metodología Scrum (3,40) se posicionó como la más conveniente, al permitir resultados rápidos y prototipos funcionales en plazos reducidos, seguida por SAM (3,35) y LXD (3,10).

Finalmente, en un quinto caso, se definió el perfil de un docente enfocado en la experiencia motivadora del estudiante, con alta ponderación en usabilidad, impacto en el aprendizaje e inmersión de la RA. El resultado mostró que la metodología LXD (3,60) era la más apropiada, seguida por Design Thinking (3,45) y SAM (3,20), dado

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que estos enfoques se centran en la creación de experiencias significativas y motivadoras para los estudiantes.

## Conclusión

En síntesis, la revisión del marco teórico y la identificación de criterios de comparación ponen de relieve que la elección metodológica en el desarrollo de OVA con RA no puede abordarse desde una lógica única o universal. Por el contrario, cada metodología presenta fortalezas y limitaciones específicas que la hacen más o menos adecuada según las prioridades pedagógicas, tecnológicas y operativas del docente y del contexto institucional. La aplicación de un análisis comparativo basado en criterios ponderados permite, por tanto, avanzar hacia una toma de decisiones fundamentada, ofreciendo una herramienta práctica que vincula la teoría con la implementación en escenarios reales de educación superior.

## Trabajos futuros

Los resultados obtenidos en este estudio, si bien se construyeron a partir de casos simulados, permiten visualizar un camino fértil para futuras investigaciones. En primer lugar, se proyecta **extender la implementación a contextos reales de aula**, abarcando diversas asignaturas y carreras de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Mendoza, con el fin de validar empíricamente la pertinencia de las metodologías en escenarios concretos. Asimismo, resulta necesario **incorporar grupos control y experimental** que permitan medir con mayor rigurosidad el impacto de los OVA con RA en el rendimiento académico y la motivación estudiantil. Otro eje de proyección es la **elaboración de una guía práctica para docentes**, que integre los criterios comparativos y facilite la selección metodológica de acuerdo con sus prioridades y contextos. Finalmente, se abre una línea promisoria en la **exploración de tecnologías emergentes**, como la inteligencia artificial y la realidad mixta, para enriquecer la experiencia de aprendizaje y fortalecer la capacidad adaptativa de los objetos virtuales de aprendizaje.

## Referencias

[1] Akçayir, M., & Akçayir, G., *Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review*, Educational Research Review, 20, 2017, pp. 1–11.

[2] Allen, M., *Leaving ADDIE for SAM: An agile model for developing the best learning experiences*, Alexandria, VA: ASTD Press, 2012.

[3] Araña-Suárez, R. E., Hernández-Castellano, P. M., Morales-Santana, M. A., & Hernández-Pérez, M. (2023). *Learning Experience Design with Maker Education*. En C. S. González-González, et al. (Eds.), Learning Technologies and Systems (pp. 243–252). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33023-0_21.

[4]Arcos Páez, V. A., Carlosama Montoya, C. R., Rivera Arcos, C. A., & Yungán Quitio, J. C. (2025). *Metodologías ágiles adaptadas a procesos educativos: resultados de implementación en distintos niveles formativos.* ASCE, 4(2), 757–772. https://magazineasce.com/index.php/1/article/view/88

[5] Arias, M. V., Franco, L. A. C., Chávez, P. A. C., & Foronda, C. O., *Fundamentación de un marco de diseño para experiencias de aprendizaje en entornos virtuales inmersivos tipo metaverso*, en J. H. Castaño Muñoz (Ed.), Metaversos: mundos virtuales y tectónica de la inmersión, Medellín: Universidad EAFIT, 2025, pp. 213-232.

[6] Brown, T., *Change by design: How design thinking creates new alternatives for business and society*, New York: Harper Business, 2009.

[7] Cabero, J., & Barroso, J. Ecosistema de aprendizaje con realidad aumentada: posibilidades educativas. *Tecnología, Ciencia y Educación, 5*(1), 141–154,2016. https://www.tecnologia-ciencia-educacion.com/index.php/TCE/article/view/101

[8] Cesen Paccha, J. E., Álvarez Toledo, J. V., Yaguana Coronel, J. D., & Balderrama Govea, S. E. (2024). TIC, gamificación y realidad aumentada para la inclusión de estudiantes con discapacidades. Revista Imaginario Social, 7(4), 127–140. https://www.revista-imaginariosocial.com/index.php/es/article/view/257

[9] Chang, S. L., *Review of The systematic design of instruction (6th ed.)* [Reseña], Educational Technology Research and Development, 54(4), 2006, pp. 417-420, https://doi.org/10.1007/s11423-006-9606-0.

[10] Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O., *The systematic design of instruction* (6th ed.), Boston: Pearson, 2005.

[11] Esteller L., V. A., & Medina, E., *Evaluación de cuatro modelos instruccionales para la aplicación de una estrategia didáctica en el contexto de la tecnología*, Revista Eduweb, 3, 2009, pp. 57–70.

[12] García-Peñalvo, F. J., Hernández-García, Á., Conde, M. Á., Fidalgo-Blanco, Á., Sein-Echaluce, M. L., & Alier-Forment, M., *Propuesta metodológica UPV4VED para el desarrollo de objetos de aprendizaje*, Education in the Knowledge Society, 15(1), 2014, pp. 83–104.

[13] Hernández-Castellano, P. M., Hernández-Pérez, M., Araña-Suárez, R. E., & Narganes-Pineda, A. (2024). *Learning Experience Design in Engineering Education. En Innovation and*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Technologies for the Digital Transformation of Education* (pp. 335–346). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-2468-0_22

[14] Maribe, R., *Instructional design: The ADDIE approach*, New York: Springer, 2009, https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6.

[15] Molenda, M., *In search of the elusive ADDIE model*, Performance Improvement, 42(5), 2003, pp. 34–36, https://doi.org/10.1002/pfi.4930420508.

[16] Norman, D. A., *The design of everyday things: Revised and expanded edition*, New York: Basic Books, 2013.

[17] Radu, I., *Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis*, Personal and Ubiquitous Computing, 18(6), 2014, pp. 1533–1543.

[18] Schwaber, K., & Sutherland, J., *The Scrum guide*, [S. l.]: Scrum.org, 2017.

[19] Schmidt, A., *Learning experience design: A better title than instructional design?*, 30 de junio de 2015, https://christytuckerlearning.com/learning-experience-design-a-better-title-than-instructional-design/

[20] Vergara Ávalos, A. Y., Moreno Beltrán, R., & Olivo García, E. (2024). *La evolución del diseño instruccional en cursos e-learning durante la pandemia: un análisis retrospectivo de las transformaciones*. RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 14(28), 1–25. https://doi.org/10.23913/ride.v14i28.1475

[21] Williams, P., Lynne, S., Sangrà, A., & Guàrdia, L., *Fundamentos del diseño técnicopedagógico en e-learning: Modelos de diseño instruccional*, Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya (UOC), s.f., https://doi.org/P06/M1103/01179.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Perspectivas para la Construcción del Sistema de Monitoreo Académico Estudiantil

Roberto Miguel Muñoz, Franco Mana, Clarisa Stefanich, Lorena Genoud, Andrés Kabusch, Luis Esteban Damiano

*GIEIMeT Grupo de Investigación en Enseñanza de la Ingeniería Mediada por Tecnologías*
*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.*

*rmunoz@frc.utn.edu.ar, manafranco@gmail.com, clarystefanich@gmail.com, lorenagenoud@gmail.com, arkabusch@gmail.com, luis.damiano@gmail.com*

## Resumen

*El artículo señala un camino para construir el Sistema de Monitoreo Académico Estudiantil, en la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional. Este sistema permitirá convertir datos históricos del Sistema Académico en información para contrastar con indicadores académicos, útiles para la gestión y el desempeño en la docencia. Presenta avances en el desarrollo del Proyecto de Investigación, que da lugar a este artículo, considerando el acceso a datos y la confidencialidad, entendimiento de la arquitectura, procesos de lectura y transformaciones necesarias hacia un repositorio analítico, definición validada de métricas y prototipos de tableros. A pesar del avance logrado, el equipo analiza dos posibles enfoques, una plataforma web propia y un producto mínimo viable híbrido, con en Google y en Moodle. Se definen próximos pasos: ampliar cobertura, métricas, alertas tempranas, analítica predictiva con criterios éticos, integraciones, capacitación y evaluación de impacto.*

## Palabras Claves

Seguimiento Académico. Sistema Académico. Información Académica. Análisis de Datos Académicos.

## Introducción

En el ámbito de la Facultad Regional Córdoba, de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-FRC), surge la necesidad de contar con herramientas que permitan analizar el recorrido académico de los estudiantes de las ocho (8) carreras de ingeniería que se brindan, en un primer momento, con la perspectiva de generar estrategias que mejoren el resultado académico, que conlleven a un mejor desempeño para la comunidad estudiantil y mejores valores globales, para las variables de las carreras. Sin dudas este propósito se ha vuelto cada vez más relevante. El Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID), titulado Sistema de Monitoreo Académico Estudiantil (SMAE), aportará precisamente información valiosa para la gestión, la docencia y la toma de decisiones estratégicas, para responder a este desafío, aprovechando los datos almacenados históricamente en el Sistema Académico (SysAcad), adoptado por la Universidad para el 93 % de las 30 Facultades Regionales que actualmente ofrecen carreras de ingeniería. La problemática de la deserción estudiantil, la prolongación en los tiempos de graduación y la carencia de indicadores dinámicos son aspectos recurrentes en la educación superior argentina, y en la Facultad en particular. En este contexto, el SMAE se plantea como una herramienta para anticipar riesgos, habilitar alertas tempranas y acompañar, tanto a estudiantes como a docentes, a través de un sistema integral, flexible, visual e inteligente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**El Proyecto de Investigación**

El proyecto, que da origen a este artículo, se inscribe en el denominado "Estrategia para la gestión de la información académica en las carreras de Ingeniería de UTN-FRC" (PID COTEEC 523), de la Convocatoria 2024, perteneciente al programa Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería y con ejecución desde el 01/04/2025 y finalización el 01/04/2027, en el espacio del Grupo de Investigación en Enseñanza de la Ingeniería Mediada por Tecnologías (GIEIMeT).

En la Facultad Regional Córdoba (FRC) se plantea un contexto en el que directores de departamentos, docentes y personal de gestión acceden a grandes volúmenes de datos académicos, a través de un sistema de consultas y aplicación de filtros, pero no con el uso de mecanismos sistematizados que permitan analizar el conocimiento y plantear estrategias, como son los tableros de control. Esto reduce la posibilidad de mejorar indicadores de las cátedras donde se evidencie esta necesidad, o de analizar causas de la deserción de estudiantes, para implementar medidas y acciones que permitan la contención de estudiantes. A ello se suma que, en 2023, las ocho carreras de ingeniería de la FRC implementaron nuevos diseños curriculares, con un promedio de 41 asignaturas por carrera, multiplicando cátedras y comisiones y, por ende, la cantidad de datos registrados en SysAcad. En este marco, la base de datos institucional se reconoce como fuente muy valiosa para la explotación sistemática a distintos niveles (cátedra, departamentos académicos, secretarías y decanato).

El proyecto prevé relevar necesidades, identificar datos, estructuras y desarrollar una plataforma web, con visualizaciones comparativas y estadísticas que brinden apoyo en la toma de decisiones a los distintos niveles de gestión.

**Antecedentes del Proyecto**

La preocupación por el seguimiento académico de los estudiantes y la generación de acciones no son recientes. En el año 2016, el Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, de la UTN-FRC, en ese momento bajo la Dirección Académica justamente del Director del PID, impulsó una iniciativa estratégica para aprovechar la información almacenada durante más de 30 años en la base de datos académica, para proveer de información útil a la toma de decisiones.

Posteriormente, en el marco del PROMINF (Programa de Mejoramiento de la Enseñanza en Ingeniería), se conformó un equipo interdisciplinario que definió indicadores básicos, que reflejaran la situación académica de las comisiones y de estudiantes, tales como: inscriptos, ingresantes, egresados, género y condición académica (libre, regular, promocionado). Los primeros informes generados con Tableau, en categoría de experimentales, incluyeron estadísticas históricas (2010-2016) sobre ingresantes (ver Figura 1) y egresados (ver Figura 2), además de infografías que mostraban las trayectorias de los estudiantes. Se incluyen esas figuras con intervalos procesados en aquel momento y como muestra de lo que se puede lograr con este nuevo proyecto, que incluirá nuevas tecnologías, metodologías y actualizar dichos intervalos.

Estos trabajos preliminares, realizados con datos de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, permitieron validar la factibilidad técnica de procesar grandes volúmenes de datos académicos (aproximadamente 500 GB en la base de datos institucional) y sentaron las bases para el desarrollo posterior de tableros interactivos, con herramientas de analítica como Tableau.

De esta manera, el SMAE no surge como una idea aislada, sino como la evolución de esfuerzos previos que buscaron sistematizar y dar valor a la información académica para mejorar la gestión universitaria.

**La Importancia del Seguimiento Académico**

Dentro de los alcances de la Tecnología Educativa, como disciplina holística, se puede resaltar la importancia que tiene la utilización de técnicas y procesos, no relacionados directamente con la instrucción y la enseñanza sino de estrategias tecnológicas que permitan tomar decisiones a partir del procesamiento de datos basados en el rendimiento académico de los estudiantes.

Cualquier proyecto de intervención en Tecnología Educativa requiere, fundamentalmente, la detección de problemáticas concretas que ameriten el desarrollo del proyecto, involucrando a los diferentes actores que participan del contexto educativo concreto (docentes, estudiantes, directivos, etc.). Por ejemplo en la Figura 3, se obtuvo con Tableau y en el período analizado anteriormente entre 2010 y 2016, muestra una distribución muy clara de la graduación por género). El seguimien-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



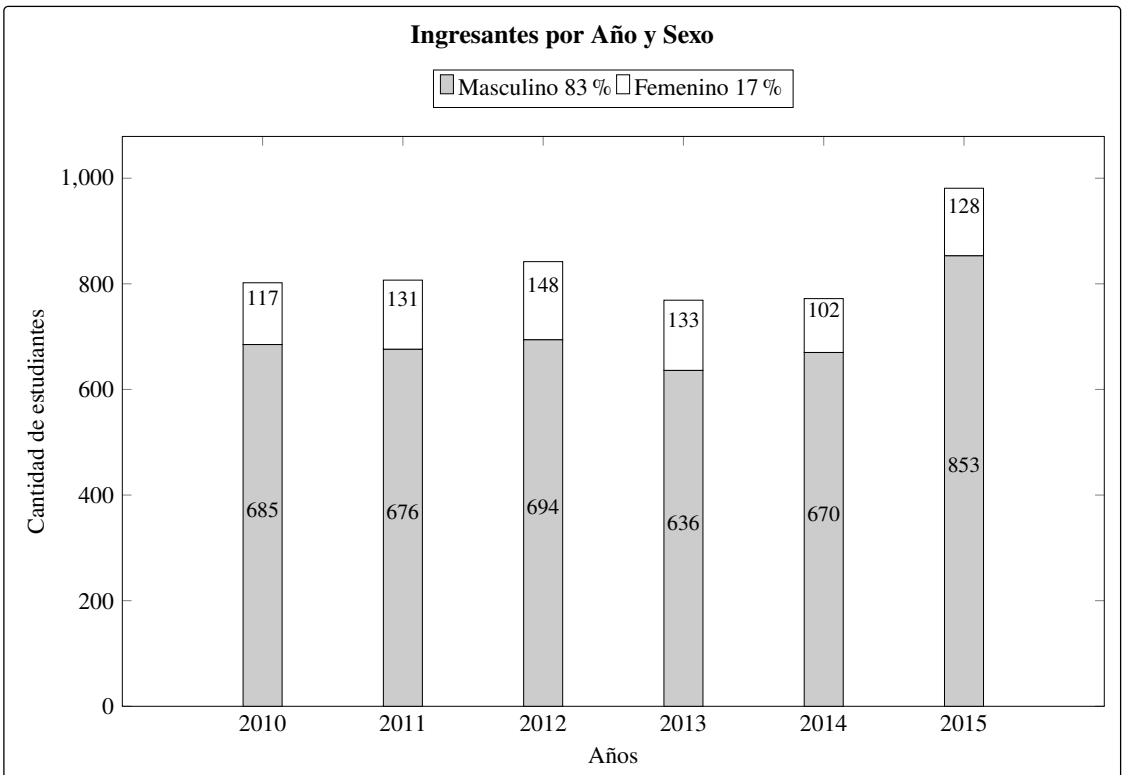



**Figura 1.** Distribución de ingresantes por año y sexo.

to académico y la posibilidad de detectar dificultades, abre la posibilidad de avanzar en la confección de árboles de problema, elemento básico para pensar causas y delimitar soluciones tecnológico-educativas.

Según Delgado Saeteros, Z. y otra [1], *"El seguimiento académico se inspira en principios que van más allá de lo académico; se enfoca en entender cómo cada estudiante aprende, crece y se motiva utilizando teorías como la autodeterminación, el aprendizaje social y la resiliencia académica acompañados de la retroalimentación y el uso de las tecnologías modernas [...]. De esta manera, el seguimiento académico no solo mejora el rendimiento y la asistencia, sino que también se convierte en un pilar fundamental para el bienestar emocional de los estudiantes"*.

Y las mismas autoras agregan: *"Según (Manzano, 2006) el seguimiento continuo es fundamental para mejorar el aprendizaje, pues la evaluación formativa y la retroalimentación detallada permiten a los estudiantes identificar sus fortalezas y áreas de mejora, promoviendo así un aprendizaje más profundo. El aprendizaje visible de (Hattie, 2009) destaca la importancia de la educación basada en evidencia. Este autor expresa que si hay datos y evidencia para realizar un seguimiento del rendimiento académico puede ser una herramienta poderosa para medir el rendimiento de los estudiantes. Aboga por proporcionar una "retroalimentación efectiva" a los estudiantes que les permita ajustar su aprendizaje y superar los obstáculos académicos."*.

### Estado del Arte: Visualización de Datos de Sistemas Académicos Universitarios

La visualización de datos de los sistemas académicos universitarios es un campo en crecimiento que busca convertir los registros administrativos y de gestión en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



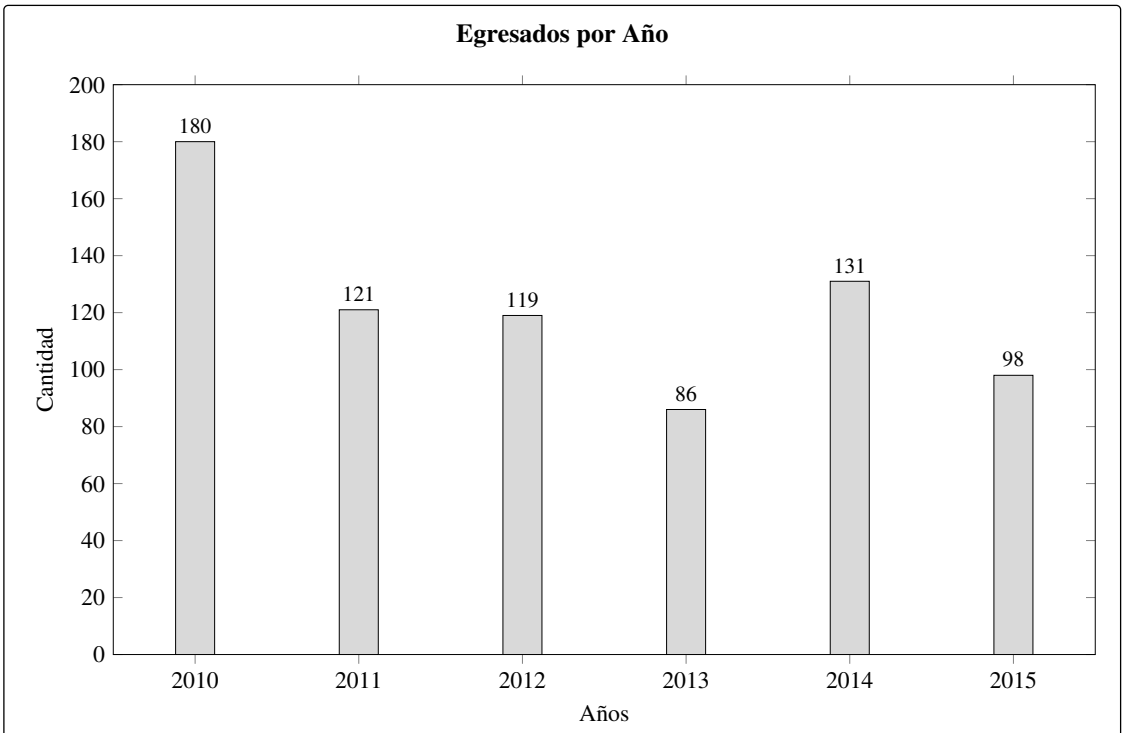



**Figura 2.** Evolución de egresados de la carrera por año

conocimiento útil y estratégico para la toma de decisiones. No todas las instituciones miran estas herramientas del mismo modo: el sentido de los datos varía según el estrato institucional. Los organismos que agrupan a los estados nacionales suelen enfocarse en panoramas globales, mientras que las universidades, especialmente las locales, priorizan sus propios indicadores. Existen antecedentes que analizan conjuntos de universidades, desde organismos internacionales como la ONU hasta instituciones de países vecinos y de Argentina. Se presenta en carácter de muestra algunos de los proyectos sobre análisis de datos impulsados por organizaciones y universidades:

1. SITEAL (Sistema de Información de Tendencias Educativas en América Latina, IIPE-UNESCO): observatorio regional con indicadores comparables (acceso, permanencia, egreso, entre otros). [2]
2. Universidad de Chile – U-Dashboards / Sistema Integrado de Indicadores: plataforma institucional de visualización interactiva y estudios técnicos que sustentan sus tableros. U-Dashboards · [3]
3. Estudio técnico. Ecosistema SIU (Argentina) Wichi / Tablero Gerencial: documentación y ejemplos de tableros integrados para explotación analítica de datos académicos (SIU-Guaraní, Moodle, etc.). [4][5]
4. UNLP– Sistema de indicadores para la gestión académica (artículo): describe un data warehouse universitario y su tablero de gestión.[6]
5. UTN Santa Cruz – Caso de monitoreo del rendimiento académico (AACINI, 2023): aplicación de herramientas de calidad con visualizaciones y métricas de rendimiento.[7]

No es intención, en este punto ni en el artículo, el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



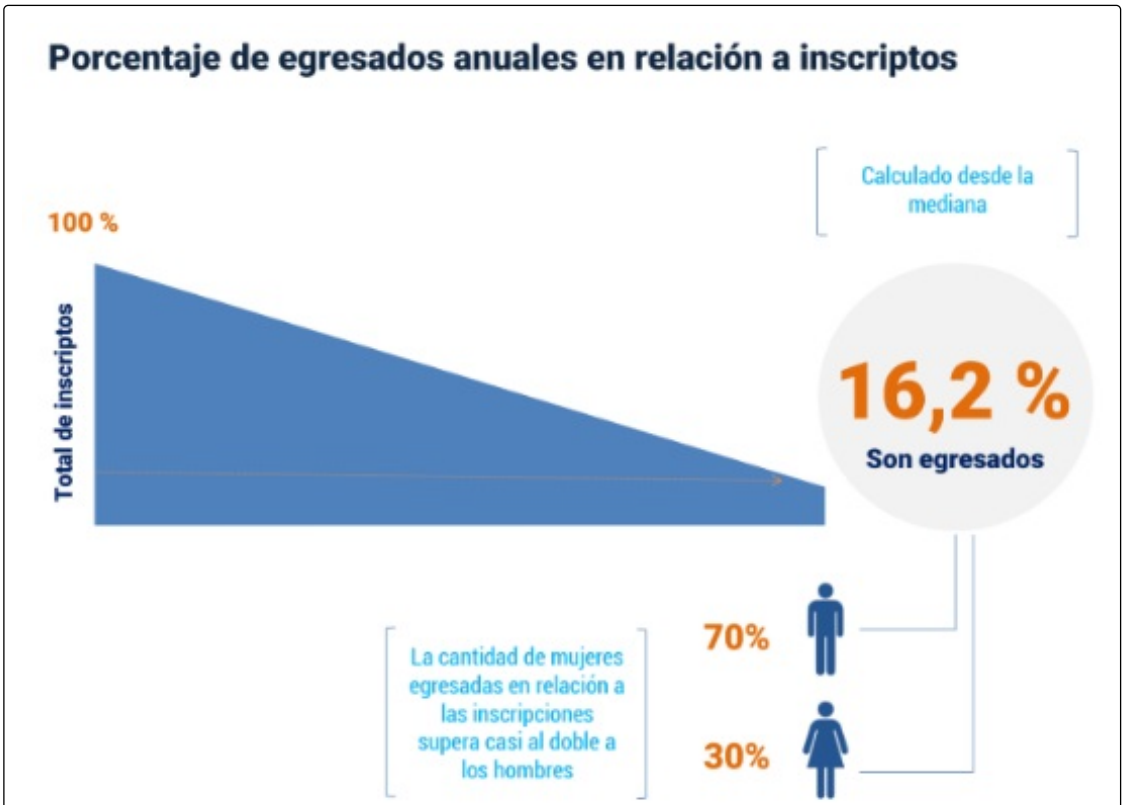



**Figura 3.** Evolución de egresados de la carrera por año

realizar una muestra exhaustiva de todo el estado del arte, sino poder establecer que el antecedente es suficientemente amplio, no sólo el transitado por el equipo de trabajo sino los ya existentes, que colaboran como guía en los desarrollos.

## Objetivos

El equipo de investigación viene trabajando desde el mes de abril del corriente año, por lo cual ya avanzó en determinados ítems del cronograma:

- Revisión de literatura relacionada a variables y análisis de datos de sistemas académicos.
- Análisis de datos y estructuras disponibles en la base de datos de SysAcad con Centro de Cómputos.
- Registrar requerimientos de parte de departamentos académicos, directivos y docentes.
- Determinar técnica para garantizar el acceso seguro y mantener confidencialidad de datos.

Por tal motivo, el desarrollo del proyecto se encuentra en una segunda etapa. A continuación dividimos los objetivos planteados en cumplidos y por cumplir, con un avance inicial y con aspectos a definir y resolver.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Objetivos Cumplidos**

A partir del trabajo desarrollado, por el equipo de investigación, estos son los logros alcanzados hasta el momento:

- **Definición estratégica y organización del proyecto:** se delimitó el alcance, se definió la visión del equipo y la manera de trabajar. Hubo contacto con actores y futuros usuarios involucrados y se señalaron criterios de priorización de tareas, en función de las necesidades de información.
- **Acceso y gobernanza de datos:** el equipo se reunió con el Decano de la Facultad, que conocía ya de la existencia y aprobación del PID, para confirmar y reafirmar su apoyo al desarrollo, difusión y garantizar el uso que el equipo brindará a los datos. Luego hubo posteriores acuerdos con el área del Centro de Cómputos, para el acceso controlado a la base de datos académica; el resguardo de confidencialidad, a través de transformación de datos que podrían permitir la identificación de estudiantes; tratamiento responsable de datos; la frecuencia necesaria de actualización del lote de datos y el modo de acceso remoto a la base de datos.
- **Comprensión de la arquitectura de datos:** se planteó, al Jefe del Centro de Cómputos y al Administrador de la base de datos, el conjunto de datos que se necesita. Ante ello se debió interactuar hasta definir a qué tablas de la base de datos relacional se debía poder acceder, como también resolución de incompatibilidades, detectando y corrigiendo discrepancias que impiden integrar y analizar los datos de forma consistente entre las tablas y el modelo analítico. Suele abarcar dos planos:
  - De esquema: que puede surgir de claves primarias y foráneas que no coinciden o faltan; tipos de datos distintos para el mismo campo.
  - De datos: pudiendo ser causado por clasificación desalineada, donde para la misma semántica se utilizan distintas taxonomías; depuración del período de estudio a analizar y la normalización de variables (estados académicos, niveles, turnos de examen y de cursado, cohortes, carreras, planes de estudio, asignaturas homogéneas entre carreras, etc.)
- **Procesos de extraer, transformar y cargar (ETL):** en este proceso de integración de datos, que combina, limpia y organiza datos en un único conjunto de datos coherente, se debieron desarrollar scripts de extracción de datos, transformación y carga
- **Diseño de indicadores:** hay un conjunto base y ya consensuado de indicadores, como por ejemplo: ingresantes e inscripciones, estados académicos por nivel/turno/asignatura/carrera, graduación, tiempos de trayectoria, relación ingresantes y reinscripciones, materias críticas, etc. Seguramente durante el desarrollo se detectan nuevos indicadores o son sugeridos por necesidad de los departamentos académicos.
- **Prototipos analíticos:** se construyeron tableros y visualizaciones, con el uso de Tableau, conectados a la base de datos de trabajo. A pesar de que Tableau limita el uso al equipo donde se instala, en el marco de uso académico, resulta útil para tomar como base de análisis, siendo que el equipo estudia la forma de desarrollo sin dependencia de marcas.
- **Primeros productos de análisis:** se obtuvieron avances en informes e infografías, con series históricas, por nivel/turno/materia; identificación de patrones, como por ejemplo: concentración de "estudiantes libres" en 1º y 2º año, distribución porcentual de estados académicos por turno de cursado (ver Figura 4),curvas de reinscripción, relación con deserción, acceso a recursados regulares, inscripciones y resultados de los recursados intensivos de verano.
- **Validación inicial con actores:** presentación de propuestas a directivos, para ajustar requerimientos y formatos de entrega.

**Objetivos por Cumplir**

Para consolidar un sistema de monitoreo académico sostenible y escalable, se plantean las siguientes metas a lograr:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



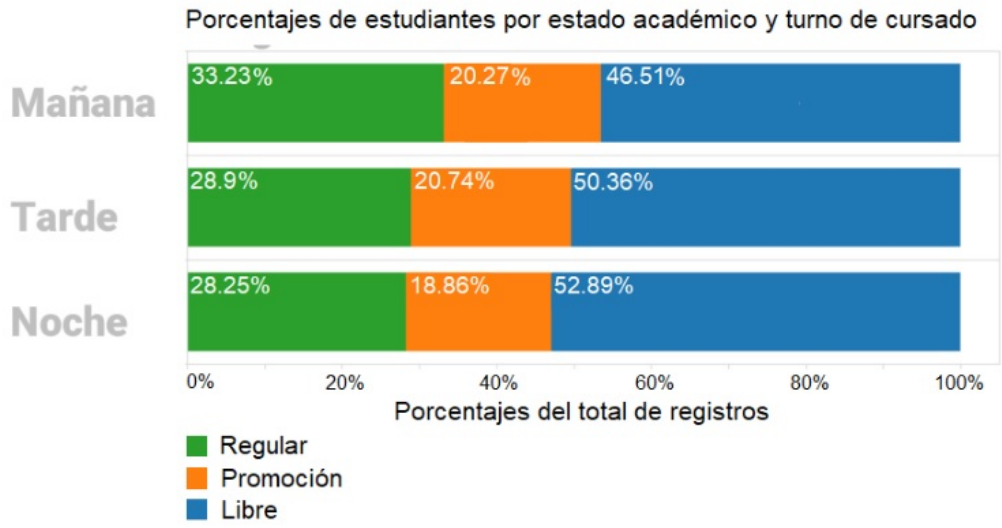



**Figura 4.** Porcentajes de cada estado académico por turno

- **Plataforma online operacional:** publicación de un portal analítico con: autenticación, perfiles de usuario, en función de las estructuras de cátedras ya definidas en SysAcad y dashboards auto-actualizables.
- **Ampliación de cobertura:** actualizar series temporales, más allá del recorte inicial de prueba, e incorporación de todas las carreras de la FRC.
- **Dimensión Docentes y Cátedras:** sumar métricas de evaluación y prácticas pedagógicas; análisis comparativo entre niveles, cursos, comisiones y turnos de cursado.
- **Alertas tempranas y analítica predictiva:** generar modelos de riesgo de recursado/deserción y de rendimiento, con enfoque ético y de privacidad.
- **Gobernanza y calidad de datos:** esto implica conocer el catálogo de datos o inventario de datos (qué tablas y campos existen, qué significan, quién es responsable y qué nivel de sensibilidad tienen.), la ruta que sigue cada dato (de dónde proviene, qué transformaciones sufre y en qué reportes/tableros termina.), controles de calidad (unicidad, dominio válido, consistencia, semántica, funcional), políticas de retención (cuánto tiempo se guardan los datos, como serán usados y cuáles se deben proteger por ser sensibles) y normativa de acceso (quién accede y cómo, con definición de perfiles y roles).
- **Integraciones:** analizar la posibilidad de articular datos académicos en plataformas de enseñanza que poseen otra información, por ejemplo: Moodle y encuestas estudiantiles, para enriquecer indicadores. En el caso de Moodle, ya todos los cursos están articulados con el sistema académico, para tener las referencias de docentes a cargo de cada comisión e importar datos de estudiantes, incluso poder reflejar así las actualizaciones de cambios de cursos o inscripciones tardías. En el caso de la encuesta, para mantener confidencialidad de cada respuesta, se mantiene en base de datos aislada del sistema académico con cifrado de datos, lo cual complejiza la integración.
- **Capacitación y transferencia:** para lograr un mejor aprovechamiento de la información resultante

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



será necesario capacitar a los equipos directivos y a quienes ejercen la jefatura de cada cátedra; generando a la vez manuales de uso y brindando seminarios internos. Dado que 28 de las 30 Facultades Regionales implementan el sistema SysAcad, se ofrecerá la posibilidad de que se haga uso de lo generado en la FRC.

- **Evaluación de impacto:** es imprescindible detectar indicadores claves de rendimiento (Key Performance Indicators, KPIs), con revisiones periódicas, pero también con difusión de resultados en jornadas y congresos.
- **Escalabilidad técnica:** es conveniente que la arquitectura sea modular, con monitoreo de performance y plan de mantenimiento evolutivo, que seguramente surgirá del mismo uso que cada usuario haga y de cambios que puedan afectar a los análisis de datos.

## Sistema a Desarrollar

El equipo inició la definición de la modalidad de trabajo, para el diseño del producto SMAE. En la primera mesa de trabajo surgieron dos enfoques de diseño que, si bien generaron una discusión constructiva y se visualizó mejor algunos conceptos, no cerraron en una decisión.
Estos son los enfoques planteados y que son factibles hasta este momento:

1. **Desarrollo de un sistema web:**
   Desarrollo de una plataforma propia que cubra todas las instancias de control de acceso y visualización escalonada de información, según rol de usuario. Incluiría la definición completa de taxonomías, con roles de usuario, niveles de acceso por categorías específicas, tipos de informes y modos de visualización según el propósito de la información.

2. **Sistema híbrido sobre servicios de Google y Moodle:**
   Uso de productos de Google en la nube, para el procesamiento y la visualización (informes, presentaciones y gráficos), con el control de acceso delegado en Moodle, organizado jerárquicamente para habilitar niveles de acceso por categoría de usuario.

El equipo trabajó en el despliegue conceptual de ambos enfoques, para poder observar los beneficios y desventajas que ambas propuestas tenían.

**Sistema Web Propio**

**Idea:** Que sea un portal único, con ingreso institucional (login), aprovechando perfiles y roles definidos ya en la facultad (docente, jefatura de cátedra, departamento, secretarías, decanato), dashboards interactivos y reglas de acceso a nivel fila (RLS — Row-Level Security / seguridad a nivel de fila) y a nivel objeto (RBAC — Role-Based Access Control / control de acceso basado en roles; ABAC — Attribute-Based Access Control / control de acceso basado en atributos).

**Arquitectura típica:** Como ya se mencionó, el origen de datos es desde SysAcad, cuya base de datos está en SQL Server y contiene los datos "crudos": inscripciones, actas, alumnos, docentes, carreras, exámenes, etc. Es el lugar donde pasa la operatoria diaria, por eso no conviene acceder con consultas pesadas para análisis ni tampoco se podría contar con la confidencialidad de datos y recorridos académicos de los estudiantes.

Para llevar esos datos al mundo analítico se utilizaría el tándem ETL y ELT. Con ETL (Extract, Transform, Load) se extrae desde SysAcad, se transforman afuera (limpieza, unificación de códigos, cálculos) y recién ahí cargarlos al destino. Con ELT (Extract, Load, Transform) hacemos la carga primero y aprovechamos la potencia del motor del almacén para transformar, por ejemplo, en BigQuery. El destino es el DWH (Data Warehouse), un almacén pensado para consultar y comparar con rapidez.

Puede ser SQL Server, PostgreSQL o BigQuery (el data warehouse de Google Cloud). La importancia del DWH es separar la operación (SysAcad) del análisis: no se interrumpe la operatoria del sistema académico y se gana velocidad para series históricas, agregaciones y cruces complejos.

Para servir esos datos hacia afuera está el backend, que expone una API (Application Programming Interface). La API entrega lo que piden los paneles o servicios: listas, filtros, descargas (CSV/JSON), y aplica reglas de negocio y permisos antes de devolver nada.

Del lado del usuario, el frontend permite las visualizaciones. Pudiendo usar ECharts, Vega-Lite o D3

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(Data-Driven Documents): gráficos interactivos, tablas dinámicas, filtros por carrera, plan, cohorte, turno. Es la interfaz del sistema, lo que ven directivos, jefaturas y cátedras para tomar decisiones.

El acceso se resuelve con SSO (Single Sign-On), para que cada persona entre con su cuenta institucional una sola vez. Detrás, LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) mantiene usuarios y grupos, y SAML (Security Assertion Markup Language) es el protocolo que permite que la identidad se entienda entre el proveedor (la universidad) y la aplicación. Con esto, además, se puede aplicar seguridad fina (por rol, área, turno, cátedra) sin contar con múltiples contraseñas por usuario.

Finalmente, todo queda registrado, para auditorías y bitácoras: quién entró, qué miró, cuándo, con qué filtros, si hubo errores, cuánto tardó. Eso da trazabilidad para cumplir políticas, y también insumos para mejorar, por ejemplo sabiendo qué paneles se usan de verdad, dónde conviene optimizar o archivar, etc.

**Ventajas**

- **Gobernanza y seguridad de primera:** control fino de datos sensibles (pseudonimización, RLS, column masking, auditoría), cumplimiento institucional y políticas de acceso por rol/área/turno.
- **Escalabilidad y performance:** caché, materializaciones, colas de trabajos; diseño para concurrencia alta y grandes volúmenes.
- **Flexibilidad total:** visualizaciones y flujos a medida (drill-down por cohorte/turno, comparativas entre cátedras, escenarios what-if, exportes controlados, APIs).
- **Trazabilidad:** telemetría, métricas de uso, logs de consultas, versiones de dashboards y modelos.

**Desventajas**

- **Tiempo y costo de desarrollo:** requiere equipo (backend/frontend/datos), proyecto y mantenimiento evolutivo.
- **Riesgo de "caja vacía" al inicio:** si no se prioriza bien, el primer entregable tarda.
- **Operación:** monitoreo, despliegues, copias de seguridad, parches de seguridad.

**Adopción**

- Cuando la seguridad, el control y la escalabilidad son no negociables (datos personales, notas, trayectorias).
- Cuando se prevé alto uso y visualizaciones muy específicas que no encajan en herramientas prefabricadas.
- Cuando se desea integración profunda con sistemas *** (SSO, SysAcad, tableros por cargo, APIs internas).

### Combinar Google Sheets, con Looker Studio y Moodle

**Idea:** Procesar datos y disponerlos en Google Sheets (hojas de cálculo en Google Drive); construir tableros en Google Looker Studio (plataforma de visualización de Google, ex Data Studio); publicar/organizar accesos desde Moodle (LMS — Learning Management System / sistema de gestión del aprendizaje) con enlaces por rol.

**Arquitectura típica:** Igual que en la propuesta anterior, el sistema inicia con un ETL liviano. La idea es traer desde las fuentes académicas lo mínimo indispensable para trabajar: seleccionar tablas/campos, limpiar códigos, estandarizar fechas y calcular un par de agregados simples (por ejemplo, Libre-Regular-Promoción por cohorte/año). Ese ETL puede correr desde un script (Apps Script, Python, SQL) y de forma programada. La clave es que sea incremental (solo trae cambios) y predecible (mismo resultado si lo corrés dos veces).

Con esos datos listos tenés dos caminos que se pueden combinar:

1. **Agregados en Google Sheets:** sirve como "caché liviano" para tablas chicas o extractos agregados (diccionarios, equivalencias, listados curados, KPIs ya resumidos). Sheets es cómodo para que alguien del equipo revise o corrija valores puntuales sin tocar la base. Pero no es una base de datos: hay límites de tamaño y concurrencia; por eso conviene no volcar crudos ni históricos grandes acá.
2. **Conector directo a BD/BigQuery:** para volumen real y consultas serias, lo recomendable es que Looker Studio apunte directo a una Base de Datos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(PostgreSQL/SQL Server) o a BigQuery. Habría mejor performance, seguridad y orden. Además, podemos aplicar vistas autorizadas o filtros a nivel de consulta para controlar qué ve cada rol sin duplicar hojas.

Con los datos ubicados, se pasaría a Looker Studio (ex Data Studio). Ahí se arman los dashboards: elegimos la fuente (Sheet o BigQuery/BD), definimos campos calculados (si hace falta), filtros por carrera/plan/cohorte/turno y los gráficos (tablas, series, barras, mapas de calor).

Después se debe publicar y organizar el acceso desde Moodle. Moodle hace de "portal": se pone un curso o categoría por público (docentes, jefaturas, departamentos, secretarías, decanato) y dentro se dejan los enlaces a cada dashboard. Se puede incluso embeber el panel (iframe/LTI), si la política lo permite, para que la gente lo vea sin salir del aula. La ventaja es que Moodle ya maneja usuarios y grupos, así que la organización por roles queda natural para la comunidad.

Un punto importante es la seguridad. Cuando se comparte un dashboard de Looker Studio, se pueden usar credenciales del propietario, todos ven lo que ve la cuenta dueña, o credenciales del visor, cada quien consulta con su identidad. Para aplicar segmentación fina (por área, turno, cátedra) lo ideal es:

- Si se usa BigQuery/BD, aplicar RLS en la fuente (vistas autorizadas o filtros parametrizados) y usar credenciales del visor; así, el que no debe ver, no ve.
- Si se usa Sheets, la segmentación suele implicar datasets separados o dashboards duplicados por perfil, porque no hay RLS real en la hoja.

Para la Auditoría, Moodle ya registra quién accede al curso/recurso; Looker Studio tiene métricas básicas de uso y se puede complementar con códigos de enlace, para saber qué link se abrió, y con logs en la BD/BigQuery si el conector lo permite. Eso brinda trazabilidad para mejorar: qué paneles se usan, cuáles no, dónde falta optimización.

**Ventajas**

- **Time-to-value muy rápido:** MVP — Minimum Viable Product (producto mínimo viable) en semanas; iteración con usuarios casi inmediata.
- **Baja barrera técnica:** equipo pequeño; muchas visualizaciones out-of-the-box.
- **Distribución simple:** Moodle como "portal" de enlaces y organización por curso/rol.
- **Costos iniciales bajos** (variante gratuita) y curva de aprendizaje amable para usuarios finales.

**Desventajas**

- **Escala y gobernanza:** Sheets no es repositorio para grandes volúmenes ni para concurrencia alta; versionado/auditoría limitados. Si el dataset crece, la opción es migrar a BigQuery o BD institucional y usar Looker Studio como capa de visualización.
- **Seguridad/granularidad:** RLS real es limitado en el stack básico Sheets+Looker; se resuelve con datasets separados por rol o vistas autorizadas en la fuente (ideal si la fuente es BD o BigQuery).
- **Trazabilidad:** métricas de uso, linaje de datos y bitácoras menos robustas que en una solución propia.
- **Vendor lock-in de prácticas:** si proliferan dashboards "ad-hoc", cuesta homogeneizar y versionar.

**Adopción**

- Para MVPs, pilotos y validación con usuarios (qué indicadores sirven, qué vistas usan).
- Cuando el volumen efectivo a publicar es agregado (no transaccional) y cabe en datasets livianos.
- Cuando Moodle es el canal natural y se desea disponibilidad inmediata sin desarrollo web.

## Conclusión

El desarrollo de este artículo sólo abarca el primer objetivo por cumplir: "Plataforma online operacional: publicación de un portal analítico con: autenticación, perfiles de usuario, en función de las estructuras de cátedras ya definidas en SysAcad y dashboards autoactualizables.", donde se evidencia que el tiempo que se deberá invertir será importante, para obtener el logro, y el esfuerzo del equipo de trabajo se deberá enfocar en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



encontrar la mejor alternativa entre las dos ideas, aunque en el proceso de la construcción de esté artículo se vislumbra la posibilidad de iniciar con el proyecto Híbrido (Google Sheets + Looker Studio) para luego desarrollar en profundidad el proyecto Sistema web.
En ambas hipótesis de trabajo, hay que desarrollar el concepto completo, que conceptualice todos los estadios de la construcción del producto, que en este momento se encuentra en estado de génesis. También hay que pensar en la creación de un equipo de especialistas, que abarque cada parte del proyecto (líder, arquitecto de datos, administrador de base de datos, diseñador conceptual del producto, programadores, tester, científico de datos, y otros), considerando que el equipo de especialista debiera poder trabajar en cualquiera de las dos hipótesis.
Los demás objetivos por cumplir se desarrollarán posteriormente en el transcurso de la investigación y desarrollo del producto, como consecuencia de las decisiones que se tomen sobre qué hipótesis se consolida la correcta.

## Referencias

[1] Z. D. Saeteros. (2024) Maximizando el éxito estudiantil: El proceso del seguimiento académico en la educación superior como estrategia de rendimiento, asistencia y apoyo. Https://share.google/1OcB0mp5ypX6pjVkE (consultado 19/09/2025).

[2] IPE-UNESCO. (2025) Siteal – sistema de información de tendencias educativas en américa latina. https://siteal.iiep.unesco.org/ (consultado 11/09/2025).

[3] U. d. C. Vicerrectoría de Asuntos Económicos y Gestión Institucional. (2024) Unidad de análisis institucional y datos (u-dashboards). https://uchile.cl/presentacion/vicerrectoria-de-asuntos-economicos-y-gestion-institucional/unidades-vaegi/unidad-de-analisis-institucional-y-datos (consultado el 11/09/2025).

[4] S. de Información Universitaria. (2001) Siu-wichi — documentación (portal gerencial), versión 6.9.0. https://documentacion.siu.edu.ar/wiki/SIUWichi/Version6.9.0/Documentacion_portal (consultado 12/09/2025).

[5] SIU. (2001) Siu-wichi — página principal de documentación. https://documentacion.siu.edu.ar/wiki/SIU-Wichi (consultado el 12/09/2025).

[6] M. Osorio. (2021) Construcción de un tablero de indicadores de gestión y de impacto de la universidad nacional de la plata. https://revistas.unlp.edu.ar/ES/article/download/13052/11829/45425 (consultado 12/09/2025).

[7] A.-M. J. D. (2023) Aplicación de las herramientas de calidad al rendimiento académico. https://riii.fi.mdp.edu.ar/index.php/AACINIRIII/article/view/72 (consultado 11/09/2025).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Agendas Estudiantiles y Celdas de Aprendizaje Transformador: El Tercer Docente de la Clase

Silvia A. Carrera
*Universidad Tecnológica Nacional- FRC*
sacarrera1@gmail.com

M. Constanza Ramos (estudiante)
*Universidad Tecnológica Nacional- FRC*
ramosconstanza0@gmail.com

Andrea A. Fariña
*Universidad Católica de Córdoba- Esc. Normal Superior Dr. Alejandro Carbó*
andreaalejandra0502@gmail.com

Bernardo J. Ramos (estudiante)
*UNC FAMAFyC*
bernyra97@gmail.com

## Resumen

Se presentan avances de una investigación que examina la interacción dialógica del tercer docente en aula con los estudiantes. Se enfoca en cómo este encuentro, que ocurre en un plano secundario de la clase, facilita la superación del error pedagógico y el desarrollo de competencias. Objetivos específicos: valorar el uso de la abducción como estrategia en la transformación de la percepción del error en los estudiantes/participantes, y comprender el impacto de la interacción dialógica en la gestión de las emociones académicas de Pekrun. Metodología: diseño no experimental con enfoque mixto. Los participantes son estudiantes que solicitan la asistencia del tercer docente en Arquitectura del Computador UTN FRC, año 2025. Resultados: La abducción como estrategia suscita sentimientos de motivación y entusiasmo entre los alumnos/partícipes y potencia los aprendizajes.

## Introducción

La designación de profesor auxiliar de primera con dedicación simple representa el escalafón de menor rango en la carrera académica universitaria. A menudo, este docente es uno de los ayudantes en una cátedra. En comisiones con grandes cantidades de estudiantes (más de 100 alumnos inscriptos) es habitual que la cátedra cuente con tres docentes en lugar de dos, siempre y cuando el presupuesto del departamento lo permita.

Si bien el profesor auxiliar posee menor jerarquía en responsabilidad y salario (con mayor carga horaria) que otros docentes con cargos superiores, como el profesor adjunto o el auxiliar jefe de trabajos prácticos (JTP), tiene una oportunidad única. Mediante una sólida formación profesional -tanto en el programa de la asignatura como en didáctica y pedagogía- puede convertirse en una figura clave para el Aprendizaje Transformacional [1]. Aunque no imparte la clase principal, su rol es fundamental -para los estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información que solicitan su ayuda- para facilitar, la comprensión de conocimiento, el desarrollo de habilidades de orden superior y la creación de CELDAS DE APRENDIZAJE TRANSFORMADOR.

El rol principal del tercer docente se configura como un *agente de transformación pedagógica*, cuya función primordial es la de *cocrear celdas de aprendizaje transformacional*. Mediante su profundo conocimiento en educación, este agente diseña un entorno de aprendizaje personalizado y colaborativo que permite la transformación estructural de ambos, docente y estudiante, ajustando las estrategias didácticas a las necesidades particulares de cada alumno -que acude a su encuentro por ayuda- para fomentar una apropiación auténtica del conocimiento.

Retomemos la expresión cocrear. Precisemos significados y filosofías subyacentes. La idea de un encuentro dialógico y de construcción mutua se enmarca en el existencialismo sartreano [2]. El tercer docente no es solo un agente que facilita algo, sino un copartícipe en la creación de significado. Es decir, este docente, con estrategias didácticas específicas, guía al estudiante y ambos (constituyendo una celda de aprendizaje transformador) construyen su esencia en ese preciso momento. El aprendiz que dialoga con el tercer docente, al formular su propia explicación, define su ser como aprendiz autónomo [2]. Por tanto, al guiar ese proceso, afirma su esencia como facilitador del pensamiento crítico.

Para Sartre, la existencia precede a la esencia. En el encuentro, el sujeto y el tercer docente no tienen una esencia predefinida de *aprendiz* o *maestro*. Sus esencias se crean en el acto mismo de la interacción. El estudiante se hace un *pensador crítico* al resolver el problema, y el tercer docente se hace un *guía transformador* cuando facilita ese proceso. Nuestro enfoque va más allá de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mera pedagogía; pues elevamos la interacción al nivel filosófico profundo.

Dicho esto, en este documento asociamos conceptual, funcional y metodológicamente la construcción *tercer docente* con *agente pedagógico*. Con la adición de *metodológicamente* buscamos solidez, pues nuestra intención es la de establecer una equivalencia teórica, de función y, además, de cómo se comportará y se estudiará este concepto en la investigación.

En palabras más directas, el agente pedagógico desempeña una función de apoyo crucial, facilita el aprendizaje personalizado y la atención individualizada para los aprendices que buscan clarificar dudas o profundizar en conceptos, mientras el profesor principal avanza con el programa de la clase. El agente se ubica en el background, al fondo del salón de clases. Clarificamos y precisamos, aún más, el rol del agente para la correcta interpretación del lector. Se trata de un rol docente sutil, sin ser el foco principal, permite abordar de manera efectiva las consultas específicas, al ofrecer un soporte diferenciado que complementa la enseñanza frontal y contribuye a la mejora del rendimiento académico de aquellos alumnos que recurren a su asistencia.

En síntesis, la presencia del tercer docente en la clase, brinda oportunidades maravillosas para propiciar la generación de un *segundo flujo de enseñanza y aprendizaje en el salón*. La acción de *dos flujos* es potente para el desarrollo de los procesos de aprendizaje transformacional en aula. Asimismo, dos flujos propician una dimensión espacial y dinámica del contexto áulico favorable, para asistir a los estudiantes de menores capitales culturales en términos de Bourdieu [3]. El docente principal en el frente, con el flujo principal de la clase, y el *agente pedagógico* en el fondo, con un segundo flujo de ayuda más personal.

La investigación constituye un estándar esencial de la Educación, tal como lo establece la UNESCO [4]. La relevancia de esta actividad impulsa la búsqueda de estrategias para implementarla al interior de la institución. Para ello, es indispensable que el centro educativo ofrezca a su comunidad —profesores y estudiantes— la oportunidad de impregnarse del espíritu investigador. Para fomentar esta cultura, es fundamental dotarlos de las herramientas intelectuales que definen el método científico. El cual emplea los razonamientos deductivo, inductivo y abductivo. Este último es un componente clave del proceso científico por su capacidad para generar y evaluar hipótesis.

En síntesis, nuestra experiencia de investigación se origina en la articulación del rol del tercer docente con los beneficios de experimentar la investigación científica en el aula. Esta sinergia da lugar al proceso metódico que constituye el objeto de este estudio.

En la urgencia de diseñar estrategias que favorezcan los procesos de aprendizaje transformacional, el tercer docente, proximidad dialógica mediante, descubre en las subjetividades estudiantiles una valiosa herramienta de diagnóstico y una estrategia pedagógica específica: la abducción. Estas subjetividades -que se encuentran en las agendas estudiantiles (tanto en su dimensión literal como figurativa)- proporcionan el conocimiento necesario que permite, al agente, aplicar una estrategia novedosa. Así, los estudiantes que acuden a su encuentro pueden avanzar. Entonces, el docente del background percibe en las agendas, que emplear la abducción en la clase es una estrategia poderosa, para que los aprendices desarrollen habilidades superiores e impulsen su propio vector talento para llegar a la meta. Y, además, esfuerzo mediante, se desarrollen como profesionales éticos [5] de la ingeniería para la democracia [6].

En resumen, la abducción se emplea como estrategia de actuación pedagógica y didáctica para el tercer docente con una doble intencionalidad. Por un lado, busca facilitar el aprendizaje y favorecer el uso del proceso de investigación como *modus operandi* en la vida del aprendiz. Por el otro, como estrategia para comprender y abordar los obstáculos emocionales [7] que impiden que el aprendizaje transformacional ocurra.

El estudio presenta los hallazgos de la fase cualitativa de la investigación. Su propósito es determinar si el razonamiento abductivo, como estrategia metodológica del tercer docente, promueve la investigación en el aula y favorece el desarrollo de emociones académicas positivas en los términos de Pekrun [7] para impulsar el aprendizaje transformacional.

En lo que respecta al marco teórico, este se fundamenta en los lineamientos del Aprendizaje Transformacional [1] y el Aprendizaje Experiencial de Dewey [6]. Dichos enfoques se complementan con las perspectivas de la Teoría del Control-Valor de Pekrun [7], la teoría de Ball [8], el razonamiento abductivo o IME de Hatman [9] y el Liderazgo Pedagógico [10].

## Aprendizaje Transformacional

La teoría del Aprendizaje Transformacional, de Mezirow [1], aborda el aprendizaje en la educación de adultos contemporáneos. La teoría postula que el aprendizaje profundo va más allá de la mera adquisición de conocimientos, al implicar una reestructuración fundamental de los marcos de referencia del individuo. Por tanto, propone una reestructuración cognitiva y existencial que permite una nueva comprensión de la realidad.

Según Mezirow, el aprendizaje transformacional alude a una transformación cognitiva y personal. Es decir, no es una mera asimilación de información, sino un proceso en el que los individuos reorientan radicalmente sus perspectivas de significado. Estas perspectivas son las estructuras psicológicas y los marcos interpretativos por medio de los cuales, los sujetos comprenden sus experiencias y el mundo.

Adicionalmente, el aprendizaje transformacional resulta del entrelazado de tres dimensiones fundamentales

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que funcionan de manera sinérgica: la dimensión cognitiva —que abarca el cuestionamiento crítico de las suposiciones y creencias arraigadas—; la dimensión afectiva —que involucra los procesos emocionales que acompañan la desestabilización y reconstrucción de significados—; y la dimensión conductual —que se evidencia en la modificación de patrones de comportamiento como resultado del nuevo marco interpretativo—.

Las investigaciones demuestran que estos procesos no son lineales, sino iterativos, y crean ciclos de reflexión, integración y acción que profundizan progresivamente el aprendizaje.

Llegado a este punto, debemos preguntarnos: ¿por qué emplear la teoría del aprendizaje transformacional como teoría sustantiva en nuestra investigación? La respuesta radica en la premisa de Mezirow, quien sostiene que el aprendizaje no ocurre espontáneamente ni puede ser impuesto.

Por el contrario, el aprendizaje transformacional es un cambio que ocurre por un motivo claro. Comienza a partir de un dilema desorientador o evento significativo que experimenta el aprendiz. Por lo tanto, el proceso transformacional es, de hecho, una reacción del sujeto ante un evento que lo lleva a cuestionar sus propias creencias. Se trata de un proceso deliberado de reflexión que comienza con un impulso particular. Enfatizamos que el aprendiz debe querer aprender.

En este sentido, la decisión del estudiante de acercarse al tercer docente (agente pedagógico) y preguntar lo que no comprende es un claro ejemplo de este proceso. Esta acción no es un acto espontáneo, sino la respuesta consciente a un dilema desorientador —la incomprensión de un tema—. Dicha búsqueda lo lleva a una acción concreta (la consulta al agente), que inicia un ciclo de reflexión y, con ello, profundiza su aprendizaje.

De esta manera, la interacción con el agente pedagógico se convierte en un encuentro dialógico en el que el conocimiento se transforma. Los métodos que ambos emplean —fomentar la reflexión, el diálogo y la formulación de preguntas— son los aspectos clave de este proceso. Esto se debe a que el conocimiento se comparte y se enriquece de forma mutua entre los participantes.

## Celdas de Aprendizaje Transformacional: Un Nuevo Concepto

La celda de aprendizaje transformacional es el núcleo y la novedad de nuestra propuesta. Es importante destacar que no se trata de un espacio físico; por el contrario, es una micro interacción, una pequeña comunidad de aprendizaje e investigación. La cual puede asociarse a un grupo de trabajo informal que surge entre el tercer docente y los alumnos que se aproximan para consultar. La celda representa, además, un proceso de transformación en sí misma, puesto que las interacciones son transformacionales. Estas interacciones, al tiempo que resuelven la duda puntual, son, como afirma Ball [8], una alternativa de cambio en la mentalidad del estudiante. Cuando el sujeto es guiado por medio de la IME, pasa de ser buscador de respuestas a constructor de soluciones.

La celda promueve un impacto en cadena. El efecto es medular para el proceso: un estudiante que ha comprendido un concepto gracias a la abducción podría, a su vez, ayudar a sus compañeros y crear así un *efecto multiplicador no planificado.*

## Abordaje Socioemocional en Contexto Áulico

El abordaje socioemocional en el ámbito del aprendizaje, desde la perspectiva de la Psicología Educacional, se centra en el desarrollo de lineamientos conceptuales vinculados a los factores afectivos.

En este marco, la teoría del control-valor de las emociones de logro de Pekrun [7] postula que las emociones académicas, tales como la alegría, la ansiedad, el aburrimiento y la frustración, por mencionar algunas, son moduladas por la percepción de control y el valor que los estudiantes asignan a sus tareas y resultados de aprendizaje.

De acuerdo con Pekrun, las emociones académicas pueden incidir de forma positiva o negativa en los procesos de enseñanza y aprendizaje en ámbitos universitarios. Además, según la teoría, aquellas se originan en la interacción de dos juicios cognitivos clave que el estudiante realiza sobre una situación de aprendizaje: la percepción de control y la evaluación de valor.

El primer juicio, la percepción de control, alude a la creencia del estudiante en su capacidad para influir en los resultados académicos. Esta evaluación se sintetiza en el interrogante fundamental: ¿Puedo tener éxito si me esfuerzo? Entonces, la teoría del escritor postula que una alta percepción de control se asocia directamente con emociones de logro y experiencias afectivas positivas; por contra, una baja percepción de control se vincula con sentimientos de indefensión y desesperanza.

El segundo juicio, la evaluación del valor, se centra en la importancia que el estudiante atribuye a la tarea o asignatura. Este valor puede ser intrínseco (disfrute personal) o extrínseco (beneficios externos como una alta calificación). La combinación de una alta percepción de control y un alto valor da lugar a emociones como el optimismo y la motivación, mientras que un alto valor con bajo control puede generar estrés o preocupación.

De ello se desprende que, a nivel pedagógico, la promoción de emociones positivas y la mejora del rendimiento académico se pueden lograr, cuando fomentamos *el sentido de control y aumentamos el valor que perciben los aprendices*; para lo cual, vinculamos los contenidos curriculares con sus intereses personales y los ayudamos a desarrollar estrategias de aprendizaje eficaces.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Nos resta enunciar el siguiente interrogante como investigadores: ¿dónde se manifiesta la vida emocional del estudiante y cómo podemos leer esas emociones para guiar el proceso de aprendizaje?

## El Liderazgo Pedagógico y las Agendas Estudiantiles

El Liderazgo Pedagógico, según la conceptualización de Gajardo y Ulloa [10], emerge como una innovación educativa que adquiere validez por medio de la práctica y la evidencia empírica. Este enfoque se centra en la creación de entornos de aprendizaje efectivos y en la promoción del desarrollo profesional docente, al tiempo que propicia un compromiso fundamental con el desarrollo integral de todos los estudiantes.

Gajardo y Ulloa [10] postulan que los líderes educativos deben integrar y articular una serie de estrategias pedagógicas con el fin de promover el aprendizaje profundo, permanente y transformacional [1]. En este sentido, un aprendizaje auténtico implica una transformación integral en los estudiantes de ingeniería y, por consiguiente, de su entorno. Dicha transformación se concibe como un proceso dinámico en el que el individuo, inmerso en una práctica situada (praxis), experimenta una modificación cultural que le permite adaptar y ajustar su conducta.

En el marco del liderazgo transformacional de Maureira Cabrera [11] seleccionamos para la experiencia, la dimensión: *propósitos,* subdimensión: expectativas, y de las acciones elegimos: establece límites muy flexibles y animar al personal a experimentar nuevas prácticas sin utilizar la presión y, asimismo, otorgarles libertad de juicio y de acción.

Para abordar las agendas estudiantiles empleamos el enfoque crítico de la política educativa de Stephen Ball [8]. Quién propone un conjunto de conceptos y de contextos de análisis para desentrañar los textos que operan en la realidad. Acordamos con Ball, que todo es política; y, que ellas justamente, son una alternativa para producir cambios.

Según Stephen Ball, la política no es un proceso lineal de creación e implementación, sino un sistema dinámico que opera por medio de ciclos y contextos interrelacionados. El contexto de influencia, en particular, es un campo de poder donde distintas voces luchan por ser escuchadas e imponer sus visiones. El autor describe esta confrontación como un choque entre coaliciones de discurso, donde cada una porta su propia cosmovisión, sus valores y sus intereses.

En este sentido, coincidimos con Ball [6] en que las voces estudiantiles trascienden la mera opinión. Ellas adquieren fuerza y visibilidad. Estas voces representan subjetividades y una forma activa de ciudadanía [6]. Además, configuran nuevas agendas en las que expresan los temores, las vulnerabilidades y las brechas conceptuales de los estudiantes, así como aquello que los impulsa a aprender por el simple placer de hacerlo. En síntesis, estas agendas reflejan los desafíos formativos que enfrentan los estudiantes en su búsqueda de una educación de calidad que los habilite como ciudadanos éticos [5] y comprometidos con la democracia en los términos de Dewey [6].

En las agendas estudiantiles es donde reside la información para dilucidar lo que necesitan los aprendices para mejorar sus trayectorias académicas. En este contexto, surge el interrogante: ¿Cómo podemos acceder a la riqueza de esta información, tanto en sus manifestaciones explícitas (notas, apuntes) como en las más implícitas (emociones, motivaciones)?

## Razonamiento Abductivo: IME

Sotillo [12] caracteriza el razonamiento por inferencia como un proceso, por el cual, a partir de un conjunto de premisas con datos específicos y particulares se construyen conclusiones generales. Las ventajas de este razonamiento han sido estudiadas por Csapó [13], y podemos inferir que la inducción favorece la comprensión de los datos y la elaboración de nueva información. Hay antecedentes de estudios sobre la enseñanza y aprendizaje del razonamiento inductivo; al respecto podemos mencionar el estudio de Salazar Arbeláez et al [14].

Por último, en cuanto al razonamiento abductivo, por sus siglas IME, uno de los referentes que lo han trabajado fue Gilbert Harman [9]. La IME se puede decir que es un proceso inferencial por el cual se formulan una serie de posibles hipótesis explicativas (en competencia) sobre una situación problemática a resolver. Posteriormente, mediante una selección de criterios, se elige una de ellas la *mejor* y se rechazan las restantes y se explicitan los criterios por los cuales se enuncia la *hipótesis ganadora*.

## La Necesidad de Formación Docente: Un Requisito para la Transformación

Este es el punto crítico en nuestra argumentación. Para que las celdas de aprendizaje transformacional sean posible, el *tercer docente* no puede ser simplemente un *ayudante*. Necesita tener una formación profesional en docencia. ¿Por qué la Formación es Clave?

Retomamos el interrogante. La abducción no es una técnica que emerge de manera natural [9]. Un profesional docente en ingeniería sin formación pedagógica podría estar tentado en ofrecer respuestas directas para ser más eficiente o por falta de herramientas para guiar el razonamiento. En adición, la teoría de Mezirow [1] el aprendizaje transformacional implica un cambio en las perspectivas de significado del estudiante y en nuestro contexto de investigación, esto se traduce en un cambio de *pensar en respuestas* a *pensar en la mejor explicación posible* [9]. Un docente con formación sabe cómo facilitar este proceso de reflexión crítica y cómo desafiar las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



preconcepciones de los estudiantes para lograr la transformación.

## Metodología. La Experiencia de Investigación y los Oficios de Enseñar y Aprender en Ingeniería.

Se empleo una investigación no experimental [15], con enfoque mixto (preponderancia hermenéutica). En el presente estudio socializamos los hallazgos de la perspectiva cualitativa de la investigación (estudio longitudinal).

Los datos cualitativos provienen de las interacciones dialógicas, que se producen, en el plano secundario de la clase y únicamente en situación de consulta de los estudiantes/participantes. Las dudas, las inquietudes o las precisiones de conceptos que solicitan estos estudiantes son abordadas pedagógicamente empleando el razonamiento abductivo o IME.

El estudio longitudinal es de naturaleza cualitativa exploratoria con lineamientos de la investigación acción. En acuerdo con Hernández Sampieri et al. [15], seleccionamos este diseño para lograr una comprensión profunda y detallada de las percepciones y experiencias de los estudiantes/participantes en dos comisiones, turno mañana y tarde, en la asignatura Arquitectura del Computador UTN FRC (año académico 2025). La experiencia se realizó con el consentimiento del departamento de Ingeniería en Sistemas de Información y de los profesores.

En cuanto a los sujetos participantes (criterio de selección de estudiantes), 20 alumnos en total, son los estudiantes que interaccionan con el tercer docente, antes de la case, durante la clase y al terminar la misma.

A continuación, presentamos algunos porcentajes e indicadores numéricos del estudio transversal de corte cuantitativo, para caracterizar los participantes del estudio hermenéutico. Los informantes clave (20 en total), tienen una edad promedio de 23 años (adultos jóvenes). El 30% son mujeres. Por otra parte, el 71 % de los sujetos son recursantes (sin datos de la cantidad de veces que recursan la asignatura). El 24% trabaja en jornadas laborales de entre 6 y 8 horas diarias. El 73% proviene de escuelas públicas y el 40% emplea más de 2hs en promedio para trasladarse de su domicilio a la UTN FRC. En cuanto a la procedencia, 55% son de Córdoba capital, el 17% de la provincia de Córdoba y el 28% es oriundo de otra provincia de Argentina.

Los participantes del estudio se distribuyeron en dos grupos de discusión, con 10 miembros en cada uno. Con el propósito de conservar la confidencialidad, los participantes del estudio se codificaron de forma alfanumérica. Por ejemplo, el participante 1 se identifica como P1, el participante 2 como P2, y así sucesivamente.

### Métodos de Recolección de Datos

A continuación, describimos, los métodos que empleamos para recopilar la información.

Para los Grupos de Discusión se desarrollaron de manera presencial en la UTN FRC. Con el objetivo de facilitar la participación y asegurar un ambiente familiar, se optó por realizar los grupos de discusión in situ. Las sesiones se programaron de manera flexible para adaptarse a los horarios de los participantes, celebrándose alternativamente minutos antes del inicio de las clases o al concluir la jornada académica**. C**on una duración promedio de 45 minutos. Las sesiones se transcribieron para su análisis. En los encuentros, cuatro en total, el investigador fue el moderador.

Los interrogantes que se plantearon en los mismos: 1) ¿Cuál/cuáles son los factores principales a los que atribuyen los atrasos en el desarrollo de sus trayectorias, considerando el año de ingreso a la institución?, 2) ¿Comprenden los temas desarrollados en la clase?

Para la Observación NO Participante, la investigadora se ubicó estratégicamente en el interior del aula. Varió su posición física (oscilando entre el sector posterior o en los laterales del salón) con el fin de obtener una perspectiva completa del entorno sin interferir en el desarrollo de las actividades del docente principal. Asimismo, la observación se llevó a cabo con una frecuencia de una vez por semana durante un mes, con una duración de entre 60 y 120 minutos por sesión. Los datos se registraron detalladamente en diarios de observación.

En cuanto a la Observación Participante, la investigadora se sumerge de manera activa en el contexto de estudio. A diferencia de la observación no participante, en este enfoque la investigadora no se mantuvo al margen, sino que asumió la función de tercer docente o agente pedagógico dentro del aula. La inmersión en el rol de participante es fundamental [15] para obtener una perspectiva interna (emic) del fenómeno. Así, fue posible interactuar directamente con los estudiantes/participantes. Asimismo, la observación se llevó a cabo con una frecuencia de una vez por semana durante dos meses, con una duración de entre 120 a 150 minutos por sesión.

Durante el período de observación, se registraron minuciosamente las experiencias, las interacciones y los eventos relevantes en un diario de campo; el cual, se emplea como herramienta principal para la recolección de datos cualitativos.

Tanto en la observación participante como no participante, se protege la identidad de los participantes por medio de codificaciones alfanuméricas caracterizadas en párrafos previos.

### Análisis de los Datos

Empleamos el análisis de contenido y la triangulación de grupos de discusión versus observación para validar la coherencia de los hallazgos [15]. Además, las transcripciones de los grupos de discusión y las notas de campo de la observación se revisaron repetidamente para identificar patrones y temas recurrentes.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A continuación, se ofrece en forma de narrativa y citas textuales, los principales hallazgos organizados en temas y conceptos emergentes.

A) G*rupo de discusión*

A1) Atrasos en las trayectorias: Numerosos participantes expresaron descontento y frustración por los atrasos en el desarrollo de sus trayectorias, considerando el año de ingreso a la institución.

P1: "*Es imposible aprender en clases aburridas, ¡te dormís!"*.

P8: "*Me va mal, el problema es que no se administrar el tiempo"*.

P16: "*Esta es una universidad de trabajadores, te llenan de TP, ¿Cuándo quieren que los haga?"*.

P5: "*Es imposible cursar 6 asignaturas. Todos piden trabajos prácticos y no hay tiempo para hacerlos. ¡Hay que dormir!"*.

A2) La estrategia: Abducción (IME)

P19: *"Él nunca te da la respuesta, te hace pensar. Es como si te diera pistas para que tú mismo llegues a la solución"*.

P1: *"El ayudante no te resuelve, te retruca '¿Qué pasa con este agrupamiento? ¿Qué pasaría si agrupas diferente?', 'te hace pensar, esta bueno"*.

P16: "*El profe ayudante cuando le pregunté por un diagrama de estados, me hizo buscar un ejercicio que yo comprendiera y me ayudó a compararlos y, ahí sí, se hizo la luz, entendí, después de 2 recursadas"*.

P9: "*el auxiliar te hace observar y buscar a mi me dijo ¿qué observas? fijate, observa detenidamente, este contador no es el mismo que este otro. No te da la respuesta ¡Hace que trabajes la cabeza!, está bueno"*.

P13: *"A mi me ayudó a armar una hipótesis, en mi vida vi una, Por si no saben es una afirmación"*.

A3) Celda de aprendizaje transformador

P11: *"Cuando nos juntamos a estudiar tratamos de ayudarnos como hace la ayudante, nos sirve"*.

P2: *"Tiene paciencia, no te apura"*.

B) *Observación Participante*

Cuando un estudiante está desinteresado la agente, sin que la llamen, se aproxima y ofrece una nueva explicación, se involucra. En tal situación el estudiante cambia de posición corporal.

En algunas circunstancias la agente solicita el cuaderno al estudiante, lo hojea, e inicia el dialogo con expresiones y preguntas disparadoras. Al observar que una actividad práctica, por ejemplo, un circuito contador síncrono no está implementado, se aproxima y ofrece ayuda para desarrollar juntos la implementación.

En otras ocasiones, alienta a los estudiantes a ser valientes con frases precisas que invitan a sumarse, por ejemplo, con expresiones como: *Se que tienes talento, no te rindas", "Vamos, adelante"* En este escenario, el alumno cambia la mirada, se dulcifica, aparecen otros matices y algunos lentamente se disponen a trabajar, a conectar con la clase.

Frente a la demanda del profesor principal para que algún estudiante socialice su propuesta de solución en la pizarra, la agente se involucra y pronuncia un apellido, otras, el nombre de pila de un estudiante del salón. Los alienta a pasar, a ser valiente, con expresiones, tales como, "te observé trabajar y lo haces bien".

En los momentos que permanece sentada invita a los estudiantes de su alrededor a compartir con ella las implementaciones de actividades prácticas, si están de acuerdo, hojea los cuadernos. Este proceso permite encontrar expresiones como: "mañana parcial de paradigma, estoy muerto", "y esto cómo se hace". Si el ejercicio incompleto es de Arquitectura del Computado, la agente le pregunta si quiere que lo ayude a resolver. Si la respuesta es afirmativa, mediante la secuencia de IME lo resuelven y compromete al alumno con otro ejercicio no resuelto, para traer, al menos dos hipótesis explicativas sobre el mismo. En estas circunstancias, la agente, a la semana siguiente y en el salón de clases continua con el proceso, algunas veces con la maravillosa sorpresa que el estudiante realizó la tarea con éxito.

En la identificación del problema o duda, en lugar de dar una respuesta directa, el agente pedagógico (tercer docente) reformula para guiar la reflexión. Con expresiones como:

"veo que la tabla de verdad está bien elaborada, ¡buen trabajo! ¡Qué tienes que hacer ahora!, ¿cuál etapa tienes que desarrollar?, ¿la recuerdas?

En cuanto a la generación de hipótesis: El agente, por medio de preguntas pedagógicas, ayuda al estudiante a formular posibles explicaciones o soluciones. Trabaja la observación como una herramienta eficaz para ajustar su enseñanza y responder a las necesidades individuales del alumnado.

Este es el momento crucial de la abducción, donde el estudiante conjetura una nueva idea. Realiza intervenciones tales como, solicitar que observe algo detenidamente, y luego lo interroga ¿qué pasará sí?, si agrego una variable más de salida, ¿Cómo reformularías la situación y cuál crees que podría ser una solución?

En la verificación y cierre el estudiante, después de haber abducido una posible solución, la verifica con la prueba de ceros y unos recorriendo el circuito lógico, por ejemplo. La agente, en un determinado punto, deja libre al alumno para que él busque la mejor respuesta. Así promueve la autonomía.

C) *Observación No Participante*

Clases sin tercer docente: un sector del estudiantado que se ubican generalmente al fondo del salón juega con el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



celular a pesar de presencia del docente en el aula. Se observa un flujo constante de ingreso y de salida de estudiantes del aula. En contraste, el grupo de estudiantes más concentrados, quienes se sitúan en las primeras filas y próximos al profesor, mantienen una participación activa. Algunos alumnos se animan a expresar que no comprenden; otros callan y no realizan las actividades. Asimismo, se observa sujetos callados e inmóviles, como si no estuviesen presentes en el aula.

Los aprendices que ocupan la primera y segunda fila van al ritmo del profesor, son activos, prácticos y vivaces. Cuando el profesor solicita alguna intervención son los primeros en responder acertadamente, con convicción y énfasis en la voz.

## Resultados y Conclusiones

Los hallazgos del estudio longitudinal de carácter cualitativo demuestran que el razonamiento abductivo (IME), como estrategia metodológica, promueve el aprendizaje transformacional y propicia el surgimiento de emociones académicas positivas. Las situaciones prácticas que la agente propone a los y las estudiantes/partícipes (como forma de constatar la superación del error) resultan satisfactorias.

Cuando la agente solicita al estudiantado que proponga una situación problemática de su autoría, este moviliza el juicio crítico, la argumentación y la valoración para justificar la elección libre y llegar a una solución que es verdaderamente de la y el estudiante.

La experiencia académica enriquece la comprensión de las emociones del grupo particular de individuos/partícipes. Se subraya la relevancia pedagógica de que los sujetos en crecimiento, elijan y experimenten su TALENTO como posibilidad, y que asumen la responsabilidad sartreana [2] de su creación y su puesta en práctica.

Por otra parte, atribuimos al excelente clima de trabajo en aula, que propicia el tercer docente, la mejora observable en la comprensión de los y las estudiantes /participantes.

Se valora en forma positiva el uso, como estrategia, de la abducción en la transformación de la percepción del error en las y los estudiantes/participantes. Asimismo, la interacción dialógica del tercer docente es una estrategia poderosa para gestionar las emociones académicas de Pekrun [7] y favorecer el desarrollo de aquellas que el autor considera positivas para alentar aprendizajes transformadores.

Reconocemos que la principal limitación de la estrategia de la IME para ser implementada en el salón de clase, es la cantidad de estudiantes presentes en el aula. En nuestra opinión, creemos muy difícil, por no decir imposible, emplear la estrategia en salones con elevado número de alumnos.

Asimismo, reconocemos qué en nuestra experiencia, los sujetos beneficiados con la estrategia IME, son los que acudieron en ayuda del tercer docente. Es por esto, que acuñamos el término celdas de aprendizaje transformacional. No es una solución universal para todo el salón.

A pesar de la limitación, el potencial de las celdas es enorme. Si estas micro interacciones realmente empoderan a los estudiantes, la influencia podría ir más allá de la simple resolución de una duda. El aprendizaje se volvería viral o contagioso dentro del grupo de pares. Es una posibilidad que habría que profundizar con nuevas investigaciones.

En adición, el tercer docente, libre de la presión de controlar a un grupo numeroso de aprendices, puede enfocarse en la transformación. En su rol, al usar la IME, no busca el cumplimiento de tareas, sino el cambio fundamental en el modo de pensar de los y las estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información. Es una apuesta sólida al cambio de paradigma, un salto de la reproducción de información a la construcción de conocimiento.

Creemos necesario enfatizar el valor del tercer docente. Su rol, cuando está bien definido y cuenta con la formación adecuada, es el único capaz de generar aprendizaje transformacional en aulas masivas. Entonces, no debería ser visto como una figura secundaria, al contrario, como un cocreador esencial para la educación de calidad en la ingeniería. Asimismo, en nuestra opinión, con los hallazgos de la investigación, demostramos que la inversión en estos agentes pedagógicos es una inversión directa en el futuro de los ingenieros y las ingenieras como agentes de cambio y solución.

Dada la efectividad de las *celdas de aprendizaje transformacional* en la experiencia, la figura del tercer docente o agente pedagógico no debería ser vista como un gasto prescindible; por el contrario, como un facilitador clave en la enseñanza y el aprendizaje de grupos numerosos. Lo cual, justifica la inversión en estos roles, independientemente de la presión presupuestaria.

El desafío prospectivo plantea el reto de continuar en la profundización de la teoría de control-valor de Pekrun [7], con el fin de comprender, de manera profunda, cómo las emociones académicas pueden convertirse en aliadas estratégicas que propicien los aprendizajes transformadores.

Finalmente, nuestra concepción de aprendizaje va más allá de un simple proceso cognitivo. Mediante el enfoque sartreano, lo elevamos a un acto de libertad radical [2]. El estudiante, al enfrentarse a la angustia ante lo desconocido o a la frustración ante el error académico, se encuentra ante una elección fundamental: sucumbir y fingir entendimiento (lo cual, en términos de Sartre, lo despojaría de su autonomía); o bien, elegir con autenticidad el camino del aprendizaje, y con ello, asumir su responsabilidad por el conocimiento, aunque este sea difícil.

En otra línea de ideas, el agente pedagógico no impone el conocimiento. Su rol es el de un facilitador que, a través

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de la abducción y la razón cordial, crea las condiciones para que el estudiante decida con su ser puesto en juego. Es decir, el agente no enseña, sino que propicia la elección del aprender. La transformación (Mezirow) solo ocurre cuando el estudiante acepta esta responsabilidad y se lanza al proyecto de comprender, un acto que es inherentemente existencial.

Para concluir, es crucial que todos los actores pedagógicos de la institución, tanto profesores como alumnos, se encuentren aliados y alineados en un marco de ética aplicada y de mínimos, sustentado en los lineamientos de la ética cordial de Adela Cortina [5].

## Referencias

[1] J. Mezirow, "Transformative Learning: Theory to Practice," ***New Directions for Adult and Continuing Education***, vol. 1997, no. 74, pp. 5–12, 1997, doi: 10.1002/ace.7401.

[2] J.P. Sartre, *El existencialismo es un humanismo*. Edhasa, 2009.

[3] P. Bourdieu, *Language and symbolic power*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1991.

[4] UNESCO, *Conferencia Mundial sobre Educación Superior 2009 - Las nuevas dinámicas de la educación superior y de la investigación para el cambio social y el desarrollo*. París, 2009. ED.2009/CONF.402/2.

[5] A. Cortina, *Ética sin moral*. Madrid, España: Tecnos, 2002.

[6] J. Dewey, *Cómo pensamos: La relación entre el pensamiento reflexivo y proceso educativo*. Buenos Aires, Argentina: Paidós, 2010.

[7] R. Pekrun, "The Control-Value Theory of achievement emotions: assumptions, corollaries, and implications for Educational Research and practice," *Educational Psychology Review*, vol. 18, pp. 315-341, 2006, doi: 10.1007/s10648-006-9029-9.

[8] S. J. Ball, *Education Policy and Social Class: The Selected Works of Stephen J. Ball*. Londres, Inglaterra: Routledge, 2005.

**[9]** G. H. Harman, *Thought*. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2015.

[10] J. Gajardo y J. Ulloa, "Liderazgo Pedagógico, Conceptos y Tensiones," LIDERES EDUCATIVOS, Centro de Liderazgo para la Mejora Escolar, Universidad de Concepción, Chile, Nota Técnica N°6, 2016. [Online]. Disponible en: https://shorturl.at/319va

[11] Ó. J. Maureira Cabrera, "Prácticas del liderazgo educativo: Una mirada evolutiva e ilustrativa a partir de sus principales marcos, dimensiones e indicadores más representativos," *Revista Educación*, vol. 42, no. 1, pp. 1-19, 2018.

[12] A. Sotillo, *Guía de Estudio: Razonamientos Deductivos e inductivos*, Explicaciones Científicas, 2006.

[13] B. Csapó, "The development of inductive reasoning: Cross-sectional assessments in a educational context," *International Journal of Behavioral Development*, vol. 21, no. 3, pp. 609-626, 1997.

[14] C. Salazar-Arbeláez, D. Botero-Herrera, and L. Giraldo-Cárdenas, "Enseñanza y aprendizaje del razonamiento deductivo e inductivo a través de las ciencias naturales: Learning and Teaching of Deductive and Inductive Reasoning through Natural Sciences," *Educación y Humanismo*, vol. 22, no. 38, pp. 1-18, 2020, doi: 10.17081/eduhum.22.38.3732.

[15] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México, México: McGraw Hill, 2006.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Una aproximación al estudio del abandono en la universidad desde la perspectiva del retraso académico

María Fernanda Giubergia - Alejandra Jewsbury - Silvia Graciela Socolovsky

*fernanda.giubergia@gmail.com - – ajewsbury@gmail.com -silviagsocolovsky@gmail.com*

Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional

## Resumen

*La problemática del abandono en el sistema universitario remite actualmente al desarrollo de novedosas estrategias basadas en IA que persiguen anticipar estas situaciones activando acciones de reparación efectivas. Este trabajo persigue el objetivo de presentar un marco conceptual específico del dominio del problema conducente a guiar la tarea de investigación y análisis de datos. Por otro lado, aporta información actual del sistema de educación superior, analizada desde distintos documentos, en general y de la Facultad Regional Córdoba de la UTN, en particular. Presenta una línea de análisis asociada a la vinculación del retraso de los estudios con el abandono e incluye aspectos de reflexión sobre la edad de los y las estudiantes tomando conocimientos y estudios de sobreedad en otros niveles educativos. Este trabajo es parte de las actividades de investigación de un proyecto de investigación para la implementación de un sistema de alerta temprana en la facultad de la que participan los autores.*

## Introducción

La discusión con respecto al concepto de abandono es extensa y muchas veces dentro de las instituciones se revisan y proponen nuevas definiciones al iniciar una investigación. Los términos abandono y deserción muchas veces se consideran diferentes y por tanto las acciones de retención se asumen distintas.

También se encuentran diferencias al describir el abandono cuando se trata de una carrera de aquel que solo se presenta cuando el abandono es de una asignatura o materia. En este orden también, muchas veces, se requiere que los docentes conozcan las causas y el momento en el que ocurre un abandono sin distinguir de qué abandono se trata. Los estudios de abandono son numerosos y se puede determinar el inicio de esta preocupación académica a partir del año 2000, con algunos pocos estudios en la década del 90. En América Latina, este período coincide en la esfera política y económica con la implementación de políticas neoliberales y por ende con las recomendaciones de ajuste del gasto público de organismos externos de financiamiento sobre los estados.

El trabajo que se presenta es parte de las tareas de análisis e investigación que se vienen realizando en el marco del PID Predicción del riesgo de abandono de estudiantes en las carreras de Ingeniería de la Facultad Regional Córdoba de la UTN. Este proyecto iniciado en el año 2025 incorpora investigadores de los grupos GIEIMeT (Grupo de Investigación en Enseñanza de la Ingeniería Mediada por Tecnología) y del grupo GIA (Grupo de Inteligencia Artificial), ambos pertenecientes a la misma Facultad. El objetivo del proyecto de investigación es la predicción del riesgo de abandono, mediante Inteligencia Artificial, de estudiantes de las carreras de Ingeniería. A partir de información registrada en diversas fuentes de datos que la institución posee, se espera encontrar modelos de aprendizaje automático acordes y que sean factibles de construir, obteniendo una valoración de riesgo de abandono para cada estudiante de ingeniería que se encuentre en el sistema académico.

En vista de que la investigación requiere de la toma de decisión sobre definiciones del objeto de estudio se presenta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



un glosario de términos. También se presentan estudios de abandono, parciales, del sistema educativo y de la facultad, con el fin de dimensionar el problema y analizar la forma en que la academia hoy lo aborda.

Por último, este trabajo presenta una línea de análisis para el abandono universitario contemplando variables e investigaciones del sistema educativo secundario, aportando la hipótesis de trabajo de que el retraso en los estudios y por ende la sobreedad es una variable determinante del abandono.

## Conceptualizando el dominio del problema

ALERTA TEMPRANA: Es la acción de identificar oportuna, o sea con el suficiente tiempo como para intervenir, estudiantes vulnerables que puedan derivar en una alta probabilidad de no finalizar sus estudios. [5]

ABANDONAR: Dejar una actividad u ocupación o no seguir haciéndola. Sinónimo: retirada, renuncia, DESERCIÓN. Antónimo: Continuación (Diccionario RAE).

ABANDONO ESCOLAR: Aquellos que asistieron en un año y no se reinscriben en el siguiente. [7]

PERMANENCIA: Duración firme, perseverancia, constancia. Sinónimo: Continuación. (Diccionario RAE)

REPITENCIA: Es un término utilizado en la educación primaria y secundaria que hace referencia a retener a los estudiantes en un "grado" ya cursado. Implica la definición de un procedimiento para indicar que hacer con este estudiante que no alcanza los objetivos esperados. [6]

RETENER: Impedir que alguien salga, se mueva o desaparezca. Sinónimo: Sostener. (Diccionario RAE)

RETRASO/DEMORA EN LOS ESTUDIOS: Describe trayectorias académicas reales que superan ampliamente la duración teórica del plan de estudios. Ejemplo: carreras de 5 años que en promedio se completan en 7,5 años o 10 años. También se clasifica a estudiantes en algo demorados (más del 50 % de la carrera aprobada en 5 años) y muy demorados (menos del 50 % aprobada en el mismo período). [8] También llamado REZAGO. Estos tres términos son utilizados para la educación superior.

SOBREEDAD: Refiere a quienes se encuentran con mayor edad de la edad teórica. En el nivel de escolaridad medio es utilizado en vista de la organización gradual de la escolaridad [7].

TASA DE EGRESO EN TIEMPO TEÓRICO: Es el cociente entre la cantidad de personas egresadas en el año t + 5 y la cantidad de personas matriculadas en el año t. El egreso en tiempo teórico representa el porcentaje de estudiantes que finalizan sus carreras de grado dentro del plazo estipulado por el plan de estudios. Para su estimación, se considera como referencia la duración teórica promedio de todas las carreras de grado vigentes (5 años de cursado) [9]

TERMINALIDAD en EDUCACIÓN: Finalización de un ciclo y obtención del certificado correspondiente.

## Abandono y sobreedad en la educación media

Se presenta en primer lugar un análisis del sistema de educación media a los fines de comprender el desarrollo de la repitencia y la edad de los estudiantes, asemejando que la repitencia produce rezago en los estudios y por ende incrementa la edad con respecto a la edad de los integrantes que se encuentran con sus estudios al día. A modo de investigación aparece como apropiado la comparación de estos sistemas educativos a fines de generar algunas hipótesis de trabajo.

La población de estudiantes secundarios en el año 2023 fue de 4.065.000 estudiantes y el 8,13% abandonó (un total de 330000 estudiantes en todo el país). Se observa, además, que desde el año 2012 el valor de abandono disminuyó en 3.21%. Analizando el abandono y la sobreedad en este Anuario se indica que los mayores niveles de abandono se encuentran en los tres últimos años de la escolaridad media y no en los tres primeros. [7]

Al momento de predecir abandono en educación media la información de la repitencia y la sobreedad son variables de alerta a considerar y que acompañan otras como nivel socioeconómico y conducta. [1]

Encontramos amplios estudios que relacionan la repitencia con la sobreedad y el abandono en la educación primaria y secundaria. Además, la repitencia "aumenta el costo financiero del sistema educativo e impacta negativamente en la autoestima del estudiante" [6]

## Comparativa de sobreedad y repitencia en los estudios en educación media y educación universitaria

Analizando los aspectos de sobreedad y repitencia en nivel primario y nivel secundario de educación encontramos en la República Argentina los siguientes aspectos [1-7]:

- Existen expresiones en la normativa del nivel asociadas a la repitencia y la sobreedad, y son etiquetadas con estigma negativa.
- La estructura es gradual (todas las materias avanzan juntas, año a año) y anualizada (todas en un mismo ciclo de tiempo).
- Si el estudiante no aprueba todas las materias, debe repetir todo el año, lo que acumula retraso de edad.
- En la República Argentina la obligatoriedad se extiende desde los cinco años y hasta la finalización del nivel de la educación secundaria. Es estado, en sus distintas jurisdicciones, es el que asegura "el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cumplimiento de la obligatoriedad escolar a través de alternativas institucionales, pedagógicas y de promoción de derechos" (Ley de Educación Nacional Nro. 26026)

- La educación de jóvenes y adultos garantiza los derechos de educación permanente para la población mayor de 18 años en todo el país.

Por otro lado, en el sistema de educación superior se observa que:

- La única referencia a la edad presente en la Ley de Educación Superior es el Art. 7 referido al ingreso de personas mayores de 25 años exceptuando de la aprobación de exámenes de ingreso y reemplazando por otras instancias de evaluación de conocimientos y prácticas.
- Los y las estudiantes pueden cursar materias atrasadas junto con otras avanzadas de acuerdo con lo establecido en el plan de estudios y en el régimen de correlatividad.
- Los y las estudiantes no tienen penalización por "ir más lento" ni se lo etiqueta como fuera de edad.
- No hay registros de asistencia (o son escasos e incompletos).
- No se encuentran restricciones en la normativa universitaria que impida a quienes estudian suspender estudios y retomarlos en el tiempo.
- La repitencia en la educación superior se realiza por asignatura y no por nivel.

En este aspecto se observa que la repitencia implica en ambos niveles el rezago en el avance del estudiante lo que impacta en su autoestima y en el costo financiero del sistema. En el contexto universitario, la sobreedad se asocia al tiempo adicional que permanece en el sistema para completar su formación, más allá de la duración planificada. [8]

## Los datos del sistema de educación superior en la Argentina

Según la información disponible en el Anuario de estadísticas de educación superior para los años 2023 se obtienen los siguientes datos, en referencia a carreras de grado, pregrado y posgrado. [10]

Tabla Nro. 1: Sistema Universitario 2023

| **Total** | **2.746.768** |
|---|---|
| Reinscriptos | 1.852.957 |
| Nuevos inscriptos | 759.718 |
| Egresados | 160.177 |

Se incluye en este anuario la tasa de retención de estudiantes en primer año, estableciéndose para todo el sistema de educación superior una tasa de retención del 57,6%, indicando que este porcentaje corresponde a los inscriptos 2022, de carreras de grado y pregrado, que continúan su cursado en el 2023. [10]

La tasa de egreso en tiempo teórico para el sistema de educación superior en su conjunto es de 23,3% [10]

## Estudios post pandemia

En este apartado se realiza la presentación de un estudio realizado en la Facultad durante el año 2023 y que toma como población de estudio los aspirantes al ingreso a las carreras de ingeniería en los años 2021 y 2022. El estudio se realiza sobre una población de 3.554 estudiantes a través de contacto telefónico y luego un formulario electrónico de encuesta. [4]

La población que se analiza es de 3.554 estudiantes que corresponde a quienes aprobaron el seminario de ingreso en el año 2021 y 2022, incluyendo todas las carreras de grado de la Facultad. Notar que el artículo que analizamos ha sido realizado el estudio en junio del 2023.

El siguiente cuadro muestra el análisis estadístico previo a la intervención telefónica.

Tabla Nro. 2: Estudio cualitativo

| Ítems de análisis estudiantes | **2021** | **2022** |
|---|---|---|
| No presentaron documentación | 1.281 | 630 |
| No se reinscribieron 2022 | 55 | 7 |
| Regulares en ninguna materia | 345 | 249 |
| Regulares en más de una materia | 499 | 488 |
| Total | 2.180 | 1.374 |

El informe indica que de la población de 3.554 estudiantes a los que se contactó en forma telefónica se obtuvieron los siguientes resultados [4]:

- 32% no atendieron el teléfono en ninguna oportunidad
- 68% atendieron la llamada telefónica

De ese 68% (2.432) que atendieron la llamada telefónica: 45% (1.116) respondieron la encuesta y 55% (1.316) no respondieron por diferentes motivos: el 40% no

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



quiso responder la encuesta, el 60% restante no se pudo contactar a la persona correspondiente.

Se obtiene entonces el siguiente resultado sobre 1.116 estudiantes que han contestado la encuesta y que corresponden a ingresantes 2021 y 2022:

Tabla Nro. 3: Tasa de abandono en estudio cualitativo

| | | |
|---|---|---|
| Total | 1.116 | |
| Abandono | 492 | 44% |
| **Cursa** | **624** | **56%** |

Se observa entonces, en base a este estudio exploratorio, que la tasa de retención es semejante a la indicada en el anuario del sistema universitario 2023, y que se refiere al mismo periodo. [10]

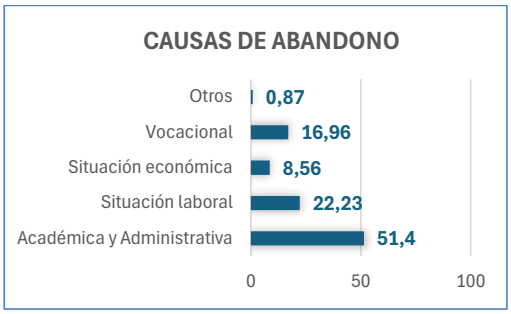
Se realiza ahora un análisis sobre los datos recolectados en este trabajo, pero aportando una mirada distinta. Observando los causales informados por las personas que abandonaron los estudios, y realizando un agrupamiento distinto al informado en el trabajo se detecta que el 51,4 % de los que abandonan lo hacen por dificultades con las instancias pedagógicas, didácticas y organizativas de la universidad. Siendo entonces está la mayor causa de abandono.

Tabla Nro. 4: Valoración de causa de abandono tipificada como Académico y Organizativas

| | % |
|---|---|
| Clase presencial | 9,78 |
| Exigencia académica | 8,91 |
| Metodología de enseñanza | 8,82 |
| Preparación de secundario | 7,79 |
| Asistencias | 7,35 |
| Tarea extraclase | 5,54 |
| Dificultad de inscripcion | 2,34 |
| Acceso al edificio | 0,52 |
| Discriminacion | 0,35 |
| Total | 51,4 |

En base a los datos recolectados en esta encuesta se puede afirmar que el abandono no se explica tanto por factores externos y si lo hace a partir de condiciones académicas y organizativas internas de la universidad. Ahora, incluyendo otras causales de abandono informadas en este estudio se obtiene el siguiente cuadro.

Tabla Nro. 5: Categorización porcentual de causa de abandono




Destacamos que para realizar esta ponencia hemos accedido a los datos brutos procesados con PowerBi y entonces se logran otras apreciaciones con respecto a la población encuestada que no se encuentran en el artículo antes citado. Es entonces que entre la población que accede a responder la encuesta demuestra el 80,02% tiene entre 18 y 22 años, es decir, son jóvenes recién egresados de nivel secundario, que el 11,83% se trata de personas entre de 23 a 27 años y que solo el 8,15% supera los 27 años. Con respecto al género el 78% son varones y 22% son mujeres.

En referencia al lugar de procedencia la mayoría de las personas encuestadas corresponden a la ciudad de Córdoba (77,94%), y en una menor medida del interior de la provincia de Córdoba (18,65%) y solo el 3,41% corresponde con otras provincias del país. En este grupo se observa un porcentaje alto de abandono, alrededor del 94%. Esto indica un predominio claro de estudiantes locales, lo que reduce la influencia de la migración en la deserción.

Este trabajo que explora el abandono en el primer y segundo año, en un periodo de postpandemia, indica que el 44% de los estudiantes abandona en una población de personas en su mayoría menores de 22 años y aduciendo causas asociadas al interior de la gestión de la universidad, lo que hemos nombrado en los puntos anteriores como repitencia o fracaso.

## Análisis cuantitativos en base a datos del sistema académico

Se presenta en este trabajo la investigación de datos realizada sobre el sistema académico de la facultad en referencia a ingreso y egreso de estudiantes en el período 2017 a 2024. Los datos se encuentran en archivos de Excel y se aplicaron selecciones de datos, agrupamientos y funciones estadísticas.

Según el artículo de Cuttica [9] adaptado a las carreras de la facultad, la tasa de egreso en tiempo teórico se calcula como el cociente entre la cantidad de personas egresadas en el año t + 6 y la cantidad de personas matriculadas en el año t. El egreso en tiempo teórico representa el porcentaje de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



estudiantes que finalizan sus carreras de grado dentro del plazo estipulado por el plan de estudios. Para su estimación, se considera como referencia la duración teórica promedio de todas las carreras de grado vigentes (5 años) más un año para realizar la tesis (total 6 años)

Según los datos extraídos del sistema de gestión académica de Ingresantes y Egresados, se estimó la tasa de egreso en tiempo teórico a partir de los egresados de cada año calendario. Es decir, se consideró la proporción de estudiantes que completaron la carrera en un plazo de 5 o 6 años (duración teórica más un año para la tesis) sobre el total de egresados de ese mismo año. Así, el indicador refleja, dentro de cada cohorte de egreso, qué porcentaje de estudiantes logró finalizar en tiempo teórico y qué porcentaje lo hizo con demoras.

Tabla Nro. 6: Análisis estadístico con datos del Sistema académico (egreso: tiempo teórico)

| | 2022 | | 2023 | | 2024 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Egresados | Cantidad | % | Cantidad | % | Cantidad | % |
| En tiempo teórico | 80 | 20,15 | 120 | 24,14 | 146 | 27,86 |
| Por equivalencias | 5 | 1,26 | 9 | 1,81 | 33 | 6,30 |
| Que excedieron el tiempo teórico | 312 | 78,59 | 368 | 74,04 | 345 | 65,84 |
| Total | 397 | 100,00 | 497 | 100,00 | 524 | 100,00 |

Respecto a la cantidad de egresados por equivalencias, sólo se tienen en cuenta los casos en los que la cantidad de años en los que el estudiante realizó la carrera es menor que la duración teórica de la misma.

La tasa de egreso en tiempo teórico en las carreras de ingeniería se mantuvo creciente desde el 2022 con un 20,15 % y llegando a un 27,86 % en 2024. Este valor es superior al considerado por en el Anuario de estadísticas universitarias 2023- 2024, que indica este valor de egreso en tiempo teórico en 23,3% [10].

Ahora considerando la relación entre las personas egresadas en el año t sobre personas ingresantes en el mismo el año t, la situación es la siguiente:

Tabla Nro. 7: Análisis estadístico con datos del Sistema académico (% de egreso por año)

| | Cantidad de Ingresantes | Cantidad de Egresados | % |
|---|---|---|---|
| 2017 | 1.928 | 411 | 21 |
| 2018 | 2.063 | 373 | 18 |
| 2019 | 2.332 | 394 | 17 |
| 2020 | 1.520 | 344 | 23 |
| 2021 | 1.956 | 426 | 22 |
| 2022 | 2.351 | 397 | 17 |
| 2023 | 2.671 | 497 | 19 |
| 2024 | 2.546 | 524 | 21 |

Corresponde al porcentaje de estudiantes que completan todos los cursos y requisitos de la oferta a la que se matricularon respecto del total de personas ingresantes a la facultad en el mismo período.

Respecto a la cantidad de ingresantes el comportamiento fluctúa ya que entre los años 2017 y 2019 la cantidad de ingresantes aumenta, pero en el año 2020 tiene una caída abrupta relacionada con la pandemia, momento a partir del cual vuelve a crecer dicha cantidad llegando en el año 2023 a 2671 estudiantes inscriptos debido a la mayor demanda de carreras tecnológicas. Una nota especial aquí surge del artículo analizado antes en el que se indica que en el periodo 2020, fundamentalmente, los y las estudiantes ingresantes enfrentaron dificultades para completar la documentación académica del nivel medio. [4]

Al mismo tiempo, y en referencia a la tabla anterior, el comportamiento de la cantidad de egresados y egresadas se observa una tendencia lenta de crecimiento desde el año 2020 hasta el año 2024 siendo el 2020 el primer año de pandemia en el que hubo una caída de un 12,7% con respecto del año 2019 y luego un incremento del 23,8% también respecto del 2020.

## Conclusiones

La tarea de comprender las causales del abandono en los estudios universitarios no es novedosa, aunque sí es permanente. La intención de disminuir el abandono acompaña a los actores políticos del sistema de educación superior con mayor incidencia que en los niveles previos de educación, y esta situación se reitera a nivel mundial. Los procesos de acreditación de carreras siempre interponen en la evaluación la necesidad de dar cuenta de los niveles de abandono de estudiantes y agregan que la institución reconozca la causa por la que se produce ese abandono y también el momento en el que ocurre.

Como hemos observado la presencia de estudios de abandono es variada y se observa que ante un mismo set de datos las conclusiones de los informes son diferentes, o se encuentran inconsistencias en las definiciones del marco conceptual que son pilares base sobre la que se asientan los resultados. Lo hemos observado con los datos del Anuario del Sistema universitario 2023 y recientes publicaciones en base a esta fuente.

Los equipos de investigación que se interrogan sobre las causales del abandono en la educación superior se encuentran con varias dificultades. Una de ellas es la disponibilidad de los datos de los estudiantes, no solo los datos de la trayectoria académica sino también las referencias socioculturales y económicas presentes en los registros personales. Además, se agrega la necesidad de contar con otros registros que hacen a la persona y que suelen estar ausentes como registros actualizados de carga de familia, de enfermedad, de discapacidad, u otros. Al respecto de la disponibilidad de los datos también se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



enfrenta el problema de integrar distintos sistemas de información en la misma institución, por ejemplo, el registro de becas de los estudiantes que suele no estar integrado con los datos académicos, dando lugar al retrabajo de integración y limpieza de datos. Cuando se disponen de datos de contacto suele ocurrir que el correo electrónico registrado es aquel brindado por la institución y que el estudiante al abandonar no ya no lo consulta; y ocurre algo semejante al modificarse el número de móvil. Por último, las personas no se encuentran interesadas en responder encuestas por situaciones que han llevado al abandono. [4]

Este equipo de trabajo presenta la propuesta de interrogar a los datos cuantitativos presentes en los archivos académicos y a los actores principales, mediante trabajos cualitativos, la correspondencia entre retraso en los estudios, con la consiguiente sobreedad, y abandono. Avanzar en las causas internas a la institución, a las que hemos llamado causales académicas y organizativas nos permitirá diseñar modelos de predicción apoyados por IA más certeros.

## Referencias

[1] Vicente, M. E., Corica, A. C. y Otero, A. E. (2024). La educación secundaria en Argentina en la última década: un análisis cuantitativo, Revista Colombiana de Educación, (90), 58-81. https/doi.org/10.17227/rce.num90-14488

[2] Cuttica, M. A. (2025) Prevención del abandono en la educación superior: Diseño de un sistema de alerta temprana. Revista Gestión de la educación Vol 11 Nro.2 [1-23] https://doi.org/10.15517/jcmvaj47

[3] Sanseau, M., Cestona, S. Permanencia de las y los estudiantes en la universidad 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CONEAU-Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria, 2023

[4] Abrile, L., Olivo Oneiros F., Tavella, M.. (2024) Análisis de la deserción estudiantil en carreras de ingeniería. Trabajo presentado en el Congreso Internacional de Ingeniería industrial. 2023. Libro de actas de resúmenes del congreso DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.1316.2023

[5] Donoso Diaz,S., Neira. T., Donoso Traverso, G. Sistemas de Alerta Temprana para estudiantes en riesgo de abandono de la Educación Superior. Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação, vol. 26, núm. 100, pp. 944-967, 2018. Fundação CESGRANRIO. https://doi.org/10.1590/S0104-40362018002601494 https://www.redalyc.org/journal/3995/399562975021/html/

[6]Rigal, L. Los regímenes de promoción de grado. Repitencia y promoción pedagógica en la educación primaria. 2017. Material de difusión del Ministerio de Educación de la Nación.

[7]Anuario Estadístico educativo 2023. Secretaría de educación. Ministerio de capital humano. Dirección nacional de información estadística educativa. Argentina. Libro digital..

[8] Moreno, J., Cheicher, A., Paolini, P. Los estudiantes universitarios y sus metas académicas. Implicancias en el logro y retraso de los estudios Ciencia, Docencia y Tecnología, vol. 30, núm. 59, pp. 148-173, 2019. Universidad Nacional de Entre Ríos

[9] Cuttica, S. Prevención del abandono en la Educación Superior: Diseño de un sistema de alerta temprana. (2025) *Gestión De La Educ.*,*11*(2) https://doi.org/10.15517/jcmvaj47

[10] Anuario Estadístico Educación Superior 2023-2024, Secretaría de Políticas universitarias. Ministerio de capital humano. Síntesis de información. Argentina. Libro digital.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Implementación y Evaluación de Estrategias de Coevaluación entre Pares en Contextos Masivos: Análisis de Percepciones Estudiantiles

*Analía Del Valle Barrionuevo*
*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán,*
*analiabarrionuevo@doc.frt.utn.edu.ar*

***Resumen***

*En el marco de la materia electiva Gestión de Procesos de Negocio, correspondiente al tercer nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información (ISI), se desarrolló una experiencia pedagógica con 149 estudiantes organizados en grupos de trabajo. El objetivo fue implementar estrategias de evaluación y seguimiento de aprendizajes en un contexto masivo, incorporando la coevaluación entre pares como herramienta de análisis y reflexión.*

*El Trabajo Práctico Nº 0 consistió en el repaso de UML mediante la elaboración de diagramas de clases, actividades y secuencia vinculados a procesos de negocio. A partir de este insumo, se aplicó una guía de coevaluación que permitió a los grupos valorar los trabajos de sus compañeros y registrar aspectos cuantitativos y cualitativos. Los resultados muestran que la coevaluación favorece la comprensión de los contenidos, promueve la colaboración y la reflexión crítica, y constituye una herramienta importante para el seguimiento de aprendizajes en grupos de clase numeroso.*

## 1. *Introducción*

La enseñanza en cohortes numerosas, como ocurre en la materia electiva Gestión de Procesos de Negocio del tercer nivel de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información (ISI), presenta desafíos particulares en términos de evaluación y seguimiento de aprendizajes. Con alrededor de 150 estudiantes, se vuelve necesario aplicar estrategias innovadoras que favorezcan tanto la autonomía como el aprendizaje colaborativo.

En este contexto, la coevaluación entre pares se presenta como una herramienta pedagógica destacada. Permite que los estudiantes asuman un rol activo en la valoración de los trabajos de sus compañeros, al tiempo que desarrollan habilidades críticas y reflexivas. Este artículo describe la implementación de un proceso de coevaluación aplicado en el Trabajo Práctico Nº 0 (repaso de UML), y analiza los resultados obtenidos en una encuesta posterior aplicada a los estudiantes.

## 2. *Marco teórico*

La coevaluación entre pares se sustenta en múltiples marcos teóricos. Desde la perspectiva sociocultural de Vygotsky [1], la interacción entre pares constituye un mecanismo fundamental para el desarrollo cognitivo, donde la zona de desarrollo próximo se activa mediante la colaboración y el intercambio de perspectivas.

Topping [2] identifica cinco beneficios principales de la coevaluación: desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, promoción de la autorregulación del aprendizaje, facilitación de la construcción social del conocimiento, reducción de la carga docente, y preparación para la evaluación profesional continua.

Entre sus beneficios se destacan el desarrollo del pensamiento crítico, la capacidad de argumentación y la toma de conciencia sobre los criterios de calidad en el aprendizaje.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La implementación de coevaluación en contextos masivos presenta desafíos específicos documentados en diversas investigaciones educativas. Falchikov [3] identifica tres tensiones principales: la variabilidad en la capacidad evaluativa de estudiantes, los sesgos que afectan la objetividad, y la complejidad organizativa de las evaluaciones cruzadas en grupos numerosos.

Liu y Carless [4] enfatizan la importancia del diseño instruccional en el éxito de la coevaluación, destacando la necesidad de criterios claros, capacitación previa y estructuras de apoyo apropiadas, aspectos que implican un importante trabajo del rol docente como facilitador del aprendizaje.

Por ello, su implementación requiere instrumentos claros, en esta experiencia se utilizó rúbricas de evaluación, y se aseguró un acompañamiento docente que garantice la equidad del proceso. En carreras de Ingeniería, donde se busca el desarrollo de competencias vinculadas al análisis, diseño y gestión de procesos complejos, la coevaluación constituye una estrategia innovadora que permite abordar los contenidos técnicos desde un enfoque reflexivo y colaborativo.

## 3. *Objetivos*

### *3.1 Objetivo General:*

Evaluar la efectividad de la implementación de estrategias de coevaluación entre pares en el contexto de una materia masiva de Ingeniería en Sistemas de Información.

### *3.2 Objetivos Específicos:*

- Analizar el nivel de satisfacción estudiantil con la experiencia de coevaluación
- Identificar los aspectos positivos percibidos por los estudiantes
- Detectar las principales dificultades y limitaciones del proceso
- Recopilar sugerencias de mejora para futuras implementaciones
- Evaluar el impacto en la comprensión de contenidos y el trabajo colaborativo

## 4. *Metodología*

### *4.1 Contexto de la experiencia:*

**Materia:** Gestión de Procesos de Negocio (electiva)
**Nivel:** Tercer año de Ingeniería en Sistemas de Información.

**Participantes:** 149 estudiantes de tercer año con conocimientos previos de UML.
**Modalidad:** Presencial y distribuidos en grupos de trabajo.
**Actividad específica:** Trabajo Práctico Nº 0 – Recuperación de Saberes Previos - Elaboración de diagramas UML (clases, actividades y secuencia) vinculados a procesos de negocio.

### *4.2 Diseño del Proceso de Coevaluación*

La experiencia se estructuró en las siguientes fases:

- **Preparación:** Desarrollo de una guía de coevaluación con criterios específicos, con preguntas de guía para guiar la mirada del evaluador en lo que el docente considera importante.
- **Ejecución:** Los grupos evaluaron trabajos de sus compañeros aplicando la guía.
- **Registro:** Documentación de aspectos cuantitativos y cualitativos
- **Retroalimentación:** Encuesta de percepción estudiantil.

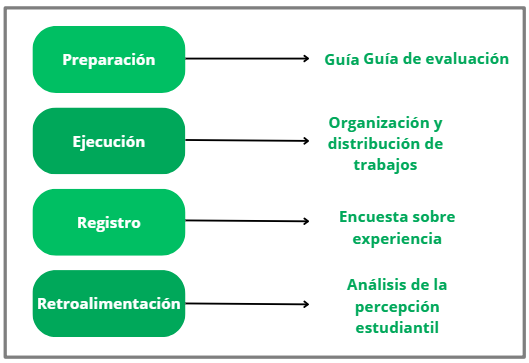



*Fig. 1 Proceso de diseño de coevaluación*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 4.3 *Instrumento de Recolección de Datos*

Se implementó una encuesta estructurada que incluía:

**Sección cuantitativa:** 5 preguntas con escala Likert (1-5) abordando:

- Comprensión de contenidos UML
- Reflexión sobre aprendizajes propios
- Promoción del trabajo colaborativo
- Claridad de la guía de evaluación
- Recomendación para futuras implementaciones

**Sección cualitativa:** 3 preguntas abiertas sobre:

- Aspectos positivos de la experiencia
- Dificultades y limitaciones identificadas
- Sugerencias de mejora

### 4.4 *Análisis de Datos:*

Los datos cuantitativos fueron analizados mediante estadística descriptiva, calculando promedios, distribuciones de frecuencia y porcentajes de respuestas positivas. El análisis cualitativo empleó categorización temática y análisis de frecuencia de palabras clave para identificar patrones emergentes.

## 5. Resultados

### 5.1 Resultados Cuantitativos

La encuesta obtuvo 149 respuestas válidas (tasa de respuesta del 82.8%), con los siguientes resultados:

| Dimensión Evaluada | Promedio | Desv. Estándar |
|---|---|---|
| Comprensión de contenidos UML | 4.11 | 0.82 |
| Reflexión sobre aprendizajes propios | 4.19 | 0.91 |
| Promoción del trabajo colaborativo | 4.31 | 0.78 |
| Claridad de la guía de evaluación | 4.22 | 0.96 |
| Recomendación para repetir experiencia | 4.05 | 1.08 |
| Promedio General | 4.18 | 0.91 |

*Tabla 1. Análisis de resultados por dimensión*

A continuación se puede visualizar los resultados de la encuesta con respecto a las dimensiones:

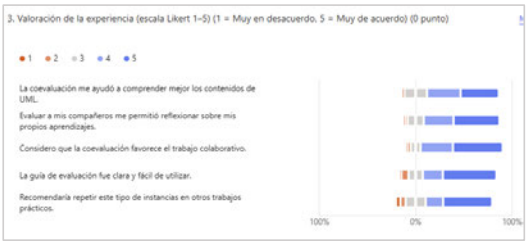



*Fig. 2 Valoración de la experiencia de coevaluación*

Esta gráfica presenta la distribución de respuestas para las cinco dimensiones evaluadas en la experiencia de coevaluación.

Se destaca una concentración marcada en los valores positivos (4 y 5), representados por las barras azules que dominan todas las dimensiones evaluadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A partir de los resultados obtenidos por dimensión se elaboró el siguiente ranking:

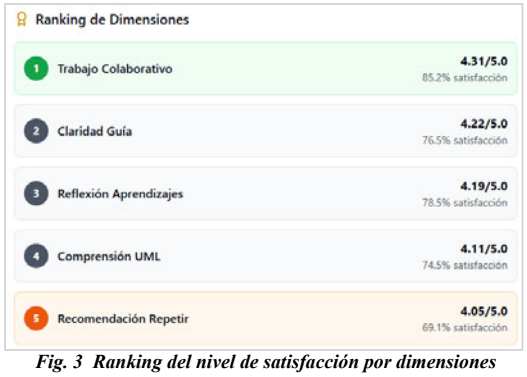



***Fig. 3 Ranking del nivel de satisfacción por dimensiones***

**Trabajo Colaborativo (4.31):**

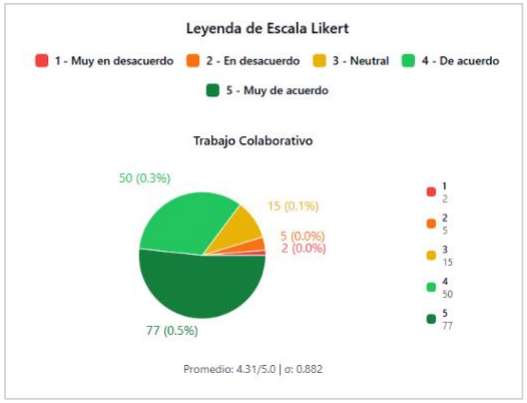



***Fig. 4 Resultados sobre la dimensión Promoción de Trabajo Colaborativo***

Es la dimensión con mayor consenso positivo.

- Confirma que la coevaluación efectivamente fomenta la colaboración entre pares.
- Sugiere que los estudiantes perciben beneficios significativos a través de las recomendaciones y sugerencias de sus compañeros.

**Claridad Metodológica de evaluación (4.22):**

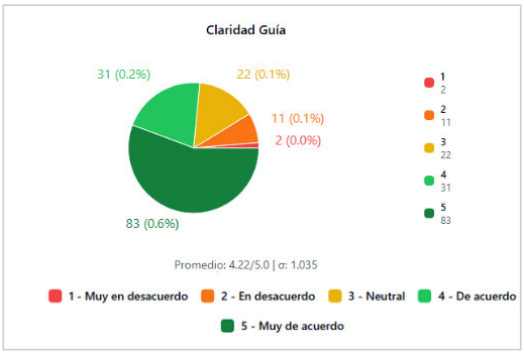



***Fig. 5 Resultados sobre la dimensión Guia de evaluación***

- Alta valoración de la herramienta de evaluación
- Indica que el diseño instruccional fue efectivo
- Los estudiantes pudieron aplicar los criterios sin mayor dificultad.

**Reflexión sobre el propio aprendizaje(4.19):**

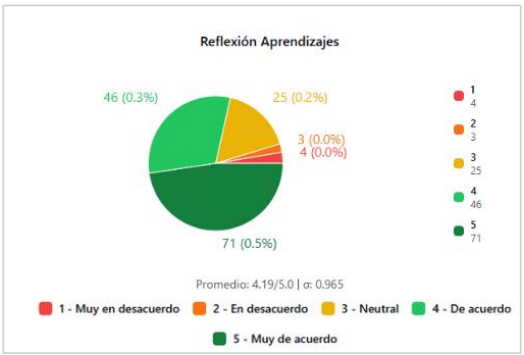



***Fig. 6 Resultados sobre la dimensión Reflexión sobre el aprendizaje propio***

- Evidencia que la coevaluación promueve la autorreflexión.
- Los estudiantes reconocen el valor de evaluar para aprender sobre sí mismos, teniendo como referencia la mirada constructiva del compañero.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Comprensión de Contenidos UML (4.11):**

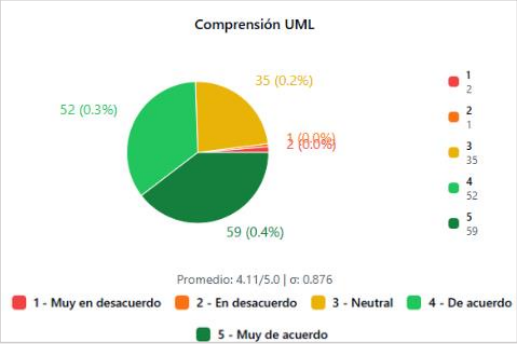



***Fig. 7 Resultados sobre la dimensión Comprensión de UML***

- Aunque positivo, es el segundo puntaje más bajo.
- Sugiere que los beneficios para el aprendizaje técnico específico son menos evidentes.
- Puede indicar necesidad de mayor conexión explícita entre coevaluación y contenido.

**Recomendación de Repetición (4.05):**

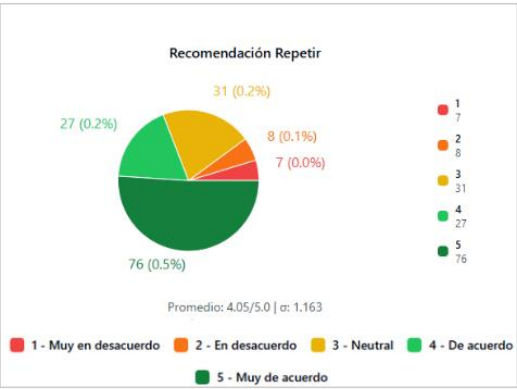



***Fig. 8 Resultados sobre la dimensión Recomendar repetir la experiencia***

- El puntaje más bajo, aunque aún positivo
- Indica cierta reserva sobre la aplicación masiva de la metodología
- Coherente con las dificultades reportadas (sobrecarga, objetividad)

### *5.2 Resultados Cualitativos*

El análisis de las 433 respuestas cualitativas válidas (148 aspectos positivos, 144 dificultades, 141 sugerencias) reveló los siguientes hallazgos:

Aspectos positivos:

- **Aprendizaje por observación (respuestas = 45):** Valoración de la oportunidad de analizar trabajos de otros compañeros
- **Comprensión de criterios (respuestas = 38):** Mejor entendimiento de los estándares de evaluación
- **Reflexión metacognitiva (respuestas = 32):** Reconocimiento de errores propios al evaluar otros trabajos.
- **Comparación constructiva (respuestas = 28):** Identificación de diferentes enfoques y mejores prácticas.

Se destacan las siguientes respuestas que evidencian los resultados mencionados en este apartado:

- *"Me ayudó a comprender mejor los criterios de la tarea al aplicarlos al trabajo de otra persona"*
- *"Uno aprende mucho de trabajos similares, para completar el propio"*
- *"Poder reconocer los errores propios al ver los de otros"*
- *"Me permitió reflexionar de manera crítica sobre el trabajo de otros y también sobre el mío, al comparar distintas formas de abordar la misma actividad. Fue positivo poder aprender de los aciertos de mis compañeros, reconocer buenas prácticas y sentir que podía aportar sugerencias constructivas que los ayuden a mejorar. Además, fortaleció la responsabilidad y el compromiso al saber que mi opinión también forma parte del proceso de aprendizaje".*
- *"Poder ver diferentes formas de realizar una misma actividad".*
- *"Me sirve para aplicar mis conocimientos desde otro punto de vista, ya que hay que ponerse desde*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*el foco del que realizo el trabajo para comprender lo realizado y poder corregirlo"*

Principales dificultades identificadas:

- **Falta de objetividad (respuestas = 35):** Dificultad para mantener imparcialidad, especialmente al evaluar pares.
- **Limitado espacio áulico para este tipo de actividades (respuestas = 28):** Percepción de demasiados grupos, y excesivo ruido para evaluar con tranquilidad el trabajo asignado.
- **Diferencias de conocimiento sobre la temática a evaluar (respuestas = 22):** Variabilidad en niveles de comprensión entre evaluadores
- **Dificultad para comunicar por escrito el resultado de la evaluación (respuestas = 18):** Dificultad para proporcionar retroalimentación constructiva.

Se destacan las siguientes respuestas:

- *"Pueden haber conocimientos o definiciones que no son iguales o similares y ocasionar problemas"*
- *"Algunos compañeros sabían más de UML que otros, entonces las evaluaciones no eran parejas"*
- *"Me faltaba conocimiento para evaluar la calidad técnica de los diagramas"*
- *"No sabía cómo explicar por escrito qué tenían que mejorar sin sonar muy crítico"*
- *"Me costaba encontrar las palabras correctas para justificar la calificación"*
- *"Era difícil dar sugerencias específicas sin parecer que les estaba diciendo qué hacer"*
- *"Me costaba balancear entre críticas y aspectos positivos"*

En cuanto a las sugerencias de mejora propuestas, se destacan los siguientes aportes:

**Rúbricas Más Detalladas (respuestas = 42):** Se hace referencia a que la rúbrica tiene dificultades para representar aspectos de desempeño específico de un trabajo.

Respuestas destacadas:

- *"Rúbrica más detallada con ejemplos claros de cómo se ve un trabajo bueno, promedio y deficiente"*
- *"Necesitábamos saber exactamente qué elementos debía tener un diagrama para identificar como excelente'"*

**Modelos de Referencia (respuestas = 25):** se planteó la necesidad de tener ejemplos de cada punto planteado en el TP. Respuestas relacionadas:

- *"Definir modelos a seguir para poder evaluar de forma lineal"*
- *"Hacer una práctica antes con un ejemplo para que todos evaluemos igual"*

**Mejor Organización (respuestas = 22 )** este punto hace referencia a la distribución de los TPs. para evaluar y a la organización de los espacios físicos donde se dicta la clase para la gran cantidad de alumnos.

Respuestas destacadas:

- *"Menos gente significa menos ruido y mejor concentración"*
- *"Hacerlo en grupos reducidos de gente, recurrir a las clases virtuales, organización en salas".*
- *Entregar los trabajos prácticos de forma ordenada y calmada"*
- *"Dar más días para hacer la evaluación, no todo en una clase"*
- *"Usar un aula más grande o dividir en varias aulas"*

## *6. Discusión*

### *6.1 Efectividad de la Coevaluación en Contextos Masivos*

Los resultados confirman la efectividad de la coevaluación como estrategia pedagógica en contextos masivos. El promedio general de satisfacción de 4.18/5 (83.6%) y el 85.2% de respuestas positivas representan una importante valoración por la experiencia. Lo que valida la pertinencia de implementar coevaluación en cohortes numerosas, en contra de las perspectivas que limitan esta metodología a grupos pequeños.

### *6.2 Validación del Aprendizaje Social*

La dimensión mejor valorada, "promoción del trabajo colaborativo", manifiesta el consenso estudiantil sobre los beneficios colaborativos de la coevaluación. Aspecto que se puede fundamentar con la teoría sociocultural del aprendizaje de Vygotsky, confirmando que la interacción entre pares constituye un mecanismo efectivo para la construcción social del conocimiento.

El análisis cualitativo refuerza esta interpretación: las 45 menciones de "aprendizaje por observación" y las 22

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



referencias a "otros" estudiantes evidencian que los participantes valoran la exposición a diferentes enfoques y soluciones.

**6.3 Desarrollo de Competencias Metacognitivas**

La alta valoración en "reflexión sobre aprendizajes propios" (4.19/5) confirma que la coevaluación promueve efectivamente el desarrollo de habilidades metacognitivas. Las 32 menciones específicas de "reflexión metacognitiva" en el análisis cualitativo, ejemplificadas en respuestas como *"Poder reconocer los errores propios al ver los de otros",* certifican el potencial de la coevaluación para desarrollar conciencia sobre el propio proceso de aprendizaje.

## *7. Desafíos para futuras implementaciones*

La implementación de coevaluación entre pares en contextos masivos revela una serie de desafíos interconectados que caracterizan la complejidad de esta práctica en el aula.

El desafío que se planteó es la falta de objetividad (35 menciones), que se manifiesta como una tensión fundamental entre la necesidad de evaluaciones imparciales y la naturaleza social del proceso de evaluación. Los estudiantes experimentan incomodidad para proporcionar retroalimentación crítica a sus pares, especialmente cuando deben dar retroalimentación constructiva. Este hallazgo, consistente con la literatura especializada [5], subraya la complejidad psicosocial de transformar a los estudiantes en evaluadores competentes de sus compañeros.

La variabilidad en expertise (22 menciones) agrega una dimensión adicional de complejidad al proceso, haciendo hincapié en que la heterogeneidad en niveles de comprensión de UML no solo afecta la validez de las evaluaciones, sino que cuestiona la hipótesis implícita de que todos los estudiantes poseen competencias evaluativas equivalentes. Esta diversidad de conocimientos revela la tensión entre la democratización del proceso evaluativo y la necesidad de mantener estándares técnicos de referencia, sugiriendo que para su efectividad el proceso evaluativo requiere un nivel mínimo de competencia técnica compartida entre evaluadores.

El análisis de la coherencia entre instrumentos de evaluación revela las tensiones inherentes en la adaptación de herramientas evaluativas diseñadas para expertos (docentes) hacia usuarios no expertos (estudiantes). La simplificación de la rúbrica docente de un sistema diferenciado a una escala uniforme 1-4, aunque facilitó la aplicación práctica, comprometió la precisión evaluativa al eliminar la ponderación original que reflejaba la importancia relativa de diferentes criterios. Esta adaptación ilustra el dilema fundamental entre rigor metodológico y usabilidad práctica en contextos masivos. Varios de los alumnos manifestaron la dificultad que representaba que el instrumento de valuación no representaba todas las posibles soluciones desarrolladas en el trabajo práctico.

Paralelamente, el análisis de sugerencias estudiantiles revela una comprensión avanzada del proceso evaluativo con el objetivo de tener más herramientas que guíen la evaluación. La demanda de "rúbricas más detalladas" (42 menciones) y "modelos de referencia" (25 menciones) evidencia que ellos reconocen sus limitaciones evaluativas y solicitan andamiaje pedagógico adicional. Esta metacognición representa tanto un desafío como una oportunidad: mientras confirma las dificultades inherentes del proceso, también sugiere que están dispuestos a desarrollar competencias evaluativas más sofisticadas si se les proporcionan las herramientas adecuadas que enriquezcan la experiencia.

Esta experiencia sugiere que la implementación exitosa de coevaluación en contextos masivos no puede resolverse mediante ajustes incrementales, sino que requiere un rediseño integral que reconozca y aborde sistemáticamente la naturaleza interdependiente de estos desafíos, constituyendo una experiencia de aprendizaje significativa.

## *8. Conclusiones*

Los resultados de esta investigación proporcionan evidencia de que la coevaluación entre pares constituye una estrategia altamente efectiva en contextos masivos, alcanzando niveles de satisfacción estudiantil del 85.2%.

Esta experiencia desafía concepciones previas que limitaban la aplicabilidad de la coevaluación solo a grupos pequeños y controlados, demostrando que, con el diseño metodológico e instruccional apropiado, es posible mantener tanto la calidad del aprendizaje como la satisfacción estudiantil.

Según los resultados evaluados, la alta efectividad se manifiesta particularmente en la promoción del aprendizaje colaborativo, dimensión que obtuvo la valoración más alta (4.31/5) con el menor nivel de variabilidad entre estudiantes. Lo que sugiere desde la percepción de los estudiantes que la coevaluación activa mecanismos de aprendizaje social que trascienden las diferencias individuales, creando experiencias de aprendizaje activo y significativo.

Un hallazgo particularmente significativo es la alta valoración en "reflexión sobre aprendizajes propios" (4.19/5), complementada con 32 menciones específicas de autoconocimiento en respuestas cualitativas, evidencia que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la coevaluación funciona como un catalizador para el desarrollo de la conciencia sobre el propio proceso de aprendizaje. Los estudiantes no solo evalúan trabajos ajenos, sino que desarrollan capacidades de autoevaluación y autorregulación que constituyen competencias fundamentales para el aprendizaje autónomo y la práctica profesional.

Este desarrollo metacognitivo se articula a través de tres mecanismos principales identificados en el estudio: el aprendizaje por observación (45 menciones), que permite a los estudiantes contrastar sus propios enfoques con alternativas diversas; la comprensión de criterios evaluativos (38 menciones), que internaliza estándares de calidad previamente externos; y la reflexión metacognitiva propiamente dicha (32 menciones), que genera conciencia explícita sobre fortalezas y debilidades del propio trabajo.

Las diferencias de conocimiento técnico (22 menciones) representan una oportunidad para implementar estrategias de capacitación previa y de regulación que no solo resuelvan la variabilidad inicial, sino que fortalezcan las competencias evaluativas de todos los participantes. Esta perspectiva convierte los obstáculos en elementos de diseño pedagógico que, apropiadamente gestionados, pueden potenciar los beneficios de la experiencia.

Un aspecto destacado es que los estudiantes demuestran una comprensión del proceso evaluativo, evidenciada en la calidad y compromiso de sus sugerencias de mejora. La demanda de "rúbricas más detalladas" (42 menciones), "modelos de referencia" (25 menciones) y "mejor organización" (22 menciones) revela que los estudiantes no solo participan pasivamente en la coevaluación, sino que desarrollan una comprensión crítica y constructiva de sus elementos constitutivos.

Los estudiantes se convierten en co-diseñadores del proceso evaluativo, aportando perspectivas que complementan la experiencia docente con la situación de aprendizaje.

Los docentes deben desarrollar competencias en diseño de rúbricas específicas, creación de ejemplos pertinentes, gestión logística de procesos masivos, y facilitación de experiencias metacognitivas.

El docente se convierte en diseñador de experiencias evaluativas, facilitador de procesos metacognitivos, y arquitecto de condiciones que promuevan el aprendizaje colaborativo auténtico.

## Referencias

[1] Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes. Harvard University Press.

[2,5] Topping, K. J. (2009). Peer assessment. *Theory Into Practice*, *48*(1), 20-27. https://doi.org/10.1080/00405840802577569

[3] Falchikov, N. (2005). *Improving assessment through student involvement: Practical solutions for aiding learning in higher and further education*. Routledge.

[4] Liu, N. F., & Carless, D. (2006). Peer feedback: The learning element of peer assessment. *Teaching in Higher Education*, *11*(3), 279-290. https://doi.org/10.1080/13562510600680582

*Capítulo*

# 4

# *Ingeniería de Sistemas y de Software*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Modelado de contratos inteligentes dirigido por patrones de eventos. Una revisión sistemática de literatura

*Oscar Carlos Medina, José Ignacio Nájera Gibert, Julio Martín Bono, Marcos León, Marcelo Martín Marciszack*
*Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba*
*omedina@frc.utn.edu.ar, josenajeragibert@gmail.com, jbono@frc.utn.edu.ar, quitusl@gmail.com, mmarciszack@frc.utn.edu.ar*

## Resumen

*El objetivo de este trabajo es llevar a cabo una revisión sistemática de literatura sobre el estado del arte en relación al uso patrones de eventos en el modelado de Contratos Inteligentes, enmarcada en un proyecto de investigación de Ingeniería de Software. La propuesta de modelado de Contratos Inteligentes dirigido por patrones de eventos permite reutilizar el conocimiento de los casos de uso que se agrupan en problemas similares y recurrentes. Contratos Inteligentes son aplicaciones descentralizadas implementadas con tecnologías Blockchain, y casos de uso son escenarios de negocio que pueden ser asociados a patrones de eventos específicos. Por tal motivo, se realizó una revisión sistemática con el fin de encontrar publicaciones científicas con soporte empírico, que luego se clasificaron y analizaron de acuerdo con distintos criterios. También se llevó a cabo una evaluación subjetiva para identificar hallazgos y elaborar conclusiones. Se encontraron 10 estudios primarios de interés, publicados entre enero de 2020 y diciembre de 2024. En general, se presentan asociados a casos de uso de Contratos Inteligentes de reciente implementación, proporcionando evidencia empírica del impacto del uso de patrones de eventos. Se pudo identificar una distribución normal en las publicaciones de interés alcanzando su punto más alto en el año 2023 y con una proyección a conservar vigencia en los próximos años. Se destacan el empleo de patrones de procesamiento de eventos en el modelado de contratos inteligentes y los casos de uso de ciberseguridad, identidad digital y "tokenización" de energía. Estas conclusiones preliminares se consideran como punto de partida para elaborar un método de modelado de Contratos Inteligentes dirigido por casos de uso asociados a patrones de eventos que facilite su construcción con mayor nivel de reusabilidad.*

## Introducción

El presente trabajo es una actividad necesaria de un proyecto de investigación que se propone elaborar un método de modelado de Contratos Inteligentes basado en patrones de eventos. El uso de patrones de eventos en el modelado de Contratos Inteligentes es una tendencia emergente. La propuesta continúa y profundiza una serie de investigaciones anteriores que versan sobre la incorporación de patrones en el Modelado Conceptual de sistemas de información en general, y en particular sobre el modelado de Contratos Inteligentes [1-3].

Contratos Inteligentes son aplicaciones autónomas y autoejecutables, basadas en tecnologías Blockchain. Blockchain es una tecnología de bases de datos descentralizada y distribuida en la cual los registros allí almacenados no están sujetos a una autoridad central, y una vez que fueron grabados no se pueden modificar ni eliminar [4].

De esta manera, el valor agregado que brindan Blockchain y los Contratos Inteligentes a las soluciones de negocio son la trazabilidad, inmutabilidad y seguridad de la información que gestionan.

La investigación en la que se enmarca el presente trabajo, se propone continuar los mencionados trabajos elaborando un método de aplicación de patrones de eventos en el modelado de sistemas basados en tecnología Blockchain.

Para poder elaborar esta propuesta es necesario en primera instancia conocer qué patrones de eventos se pueden utilizar, o se utilizaron, en el modelado de Contratos Inteligentes. Con este fin los autores utilizan el método de investigación denominado RSL, acrónimo de Revisión Sistemática de la Literatura. Este método es parte de la disciplina ISBE, Ingeniería de Software Basada en Evidencias que busca evaluar e interpretar toda la evidencia empírica disponible en relación a preguntas de investigación particulares o un fenómeno de interés [5-6].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Una RSL es un enfoque metodológico utilizado en la investigación para identificar, evaluar y sintetizar la totalidad de la investigación disponible sobre un tema específico. Su objetivo es proporcionar una visión integral y objetiva de la evidencia empírica existente, lo que permite a los investigadores entender mejor el estado actual del arte sobre un tema determinado. La RSL se emplea para obtener evidencias de estudios primarios y secundarios de un tema de interés. La salida producida al aplicar el proceso de RSL sobre estudios primarios se denomina estudio secundario, en tanto que el documento resultante de aplicar dicho proceso sobre estudios secundarios se denomina estudio terciario. La RSL está integrada por tres componentes principales: un marco conceptual de dominio, especificaciones de perspectivas de proceso y especificaciones de fases de trabajo. La RSL busca garantizar transparencia y reproducibilidad de los hallazgos por lo que se documenta todo el proceso de la revisión de manera que otros investigadores puedan replicar el estudio.

El presente artículo detalla cada una de las etapas de un trabajo de RSL sobre patrones de eventos que se puedan aplicar en el modelado de Contratos Inteligentes. La RSL tiene tres fases: planificación, ejecución y reporte. En primer lugar, se planifica la revisión, fundamentando el tema, especificando la estrategia de búsqueda, diseñando el proceso de extracción de datos y el de síntesis. En el segundo apartado se ejecuta la RSL y se muestran los resultados. Finalmente, se exponen las conclusiones y referencias del trabajo.

## Planificación de la revisión

El propósito de este estudio es determinar el estado del arte en el uso de patrones de eventos para el modelado de Contratos Inteligentes, analizando la documentación existente, ayudando a resumir y esclarecer la evidencia, lo que facilita una mejor toma de decisiones y la formulación de nuevas hipótesis de investigación. A partir de esto, se plantea la siguiente pregunta que guía el estudio:

¿Cuál es el estado del arte del empleo de patrones de eventos dentro del modelado de Contratos Inteligentes?

A continuación, en este apartado se describen: los fundamentos, la estrategia de búsqueda, el proceso de extracción de datos y el proceso de síntesis de este protocolo; especificando las preguntas de investigación que motivan esta revisión.

### Fundamentos

Los patrones permiten aprovechar la experiencia colectiva en software especializado, donde los ingenieros aplican conocimientos existentes y probados en el desarrollo de sistemas. Según Eriksson y Penker, cada patrón aborda un problema específico y recurrente en el diseño o implementación de un sistema de software [7]. El concepto de patrones se extiende a diversos dominios. En este sentido, los patrones de eventos son enfoques arquitectónicos y de diseño que se basan en el uso de eventos como medio principal para comunicar y coordinar diferentes partes de un sistema.

Esta investigación está guiada por preguntas que buscan proporcionar una visión específica de los aspectos relevantes sobre patrones en el modelado de Contratos Inteligentes.

Las preguntas de investigación de esta revisión sistemática se detallan a continuación:

**RQ1:** ¿Qué caracteriza a los patrones de eventos para emplearse en el modelado de Contratos Inteligentes?

**RQ2:** ¿Qué patrones de eventos se emplearon en los trabajos existentes acerca del modelado de Contratos Inteligentes?

**RQ3:** ¿En qué casos reales se implementaron patrones de eventos en el modelado de Contratos Inteligentes?

El término “Tipos de patrones” presupone que ya existe una clasificación en el estado del arte de patrones desde el enfoque de la Ingeniería de Software. Se identificó que existe un consenso sobre los tipos de patrones que son desarrollados por distintos autores. Se destaca las agrupaciones que realiza Sommerville [8].

Sommerville clasifica los patrones de acuerdo a fines específicos: patrones de diseño orientados a objetos [9], patrones de usabilidad [10], patrones de arquitectura [11], de seguridad [12], entre otros.

Los patrones de eventos pertenecen al grupo de patrones de arquitectura. Buschmann [11] define a los patrones arquitectónicos como un conjunto predefinido de subsistemas con sus responsabilidades y una serie de recomendaciones para organizar los distintos componentes.

Los patrones de arquitectura tienen como finalidad representar los diferentes elementos que componen un producto de software y las relaciones entre ellos en el modelado del sistema. A diferencia de los patrones de diseño de software que están basados en la programación orientada a objetos, los patrones de arquitectura se definen a un mayor nivel de abstracción. Forman parte de la arquitectura lógica de un sistema, lo que hace necesaria su definición en la fase de construcción, pero es factible y conveniente su inclusión en el Modelo Conceptual simultáneamente con otros patrones que cubren distintas facetas del modelado. La arquitectura de software define, de manera abstracta, los componentes que llevan a cabo alguna tarea de proceso de información, sus interfaces y la comunicación entre ellos.

Los patrones de eventos poseen un alto nivel de abstracción que permite trabajar con sistemas basados en eventos, sistemas distribuidos, aplicaciones con alta concurrencia y arquitecturas modernas como arquitectura dirigida por eventos cuyo acrónimo en inglés es EDA, “event-driven architecture”.

Estos patrones se pueden clasificar en tres categorías:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Patrones de generación de eventos:** abordan cómo se producen y emiten los eventos dentro del sistema, incluyendo la definición de fuentes de eventos y su formato.
- **Patrones de procesamiento de eventos:** se centran en cómo los eventos son capturados, filtrados, agregados o transformados para extraer información significativa.
- **Patrones de reacción a eventos:** se enfocan en cómo el sistema responde a los eventos procesados, desencadenando acciones, actualizaciones o comunicaciones con otros componentes.

Cabe destacar que cada pregunta que se ha definido para la RSL tiene un objetivo específico, que, en su conjunto colaboran con el objetivo general de esta investigación.

A continuación, en la **Tabla 1**, se especifica la motivación de cada una de las preguntas definidas:

**Tabla 1. Motivación de cada pregunta de investigación**

| RQ | MOTIVACIÓN |
|---|---|
| **RQ 1** | Explorar las características que poseen los patrones de eventos para emplearse en el modelado de Contratos Inteligentes. |
| **RQ 2** | Indagar las categorías de patrones de eventos empleados en la fase de modelado de Contratos Inteligentes. |
| **RQ 3** | Conocer los casos reales en que se hayan aplicado patrones de eventos en el modelado de Contratos Inteligentes ya implementados. |

## Estrategia de búsqueda

Se realiza una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas, y otras fuentes relevantes, para recopilar todos los estudios que cumplen con los criterios establecidos, utilizando las siguientes bases de datos bibliográficas:

- IEEE (IEE Xplore)
- ScienceDirect
- RIA
- Google Académico

El motivo por el que se eligieron estas bases de datos para desarrollar la RSL, es porque se considera a estos buscadores de bibliografía científica, como los principales dentro de la temática en la que estamos trabajando. Se incluyó el repositorio institucional de la Universidad a la que pertenecen los autores de este trabajo, y a Dado que Google Académico, porque la búsqueda en él añade artículos relevantes que no se encuentran en las otras bases de datos. Las RSL se efectúan mediante una metodología adecuada para lograr una estrategia de búsqueda de manera eficiente. Se han realizado enfoques de análisis sobre cada base de datos para extraer de la forma más óptima los documentos de interés para validar el uso de patrones de eventos en la elaboración de modelos conceptuales de Contratos Inteligentes. Por esta razón, mediante el correcto conocimiento de las herramientas de búsqueda se pudieron obtener los documentos de interés para el posterior proceso de síntesis. La búsqueda fue realizada en los metadatos título, resumen y palabras claves.

Se definen los criterios que determinan qué estudios son incluidos en la revisión y cuáles se quedan afuera. Los criterios de inclusión son:

1. Estudios desde enero de 2014 hasta diciembre de 2024. Se toma como inicio de la búsqueda el año en que se creó la plataforma Ethereum que permite implementar el concepto de Contrato Inteligente.
2. Estudios en idioma inglés, y en español para el buscador RIA.
3. Estudios relacionados con la cadena de búsqueda definida.
4. Sólo se tendrán en cuenta los siguientes tipos de documentos:

- Artículos de revistas
- Workshops
- Documentos de conferencias
- Contribuciones de talleres industriales / profesionales
- Contribuciones de conferencias industriales / profesionales.

Los criterios de exclusión son:

1. Documentos que no sean de las disciplinas Ingeniería de Software o Ciencias de la Computación.
2. Documentos que no se centren en patrones de eventos en el modelado de contratos inteligentes.
3. Documentos disponibles solo en forma de resúmenes, afiches o presentaciones.
4. Blogs personales o páginas web.
5. Documentos duplicados.
6. Documentos que carecen de una adecuada aplicabilidad sobre el uso de patrones de eventos y su fundamentación científica.

Los términos seleccionados para definir la cadena de búsqueda son: “blockchain” y “pattern”, para el buscador RIA: “contrato inteligente” y “patrones de eventos”. Los términos se combinaron en los filtros de búsqueda de la manera más conveniente para maximizar la cantidad de documentos encontrados por buscador.

## Proceso de extracción de datos

Se diseñó una planilla para la extracción de datos, con el objetivo de facilitar la actividad de sintetizar los datos recogidos. Se evalúa la calidad y validez de los estudios

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



incluidos en la revisión. Los datos que se recopilaron por cada publicación son los siguientes:

1. Id: identificador numérico interno de la publicación.
2. Título de la publicación.
3. Año de publicación: El año en que se publicó el documento. Este campo se encuentra relacionado con uno de los criterios de inclusión definidos. Aunque no está relacionado con ningún RQ, aporta resultados adicionales.
4. Fuente: Buscador científico donde fue encontrada la publicación.
5. Es de interés: Indica si el documento es de interés para la RSL si los patrones referenciados han sido usado en un caso real en la industria del software. Esto está relacionado a RQ1 y RQ3.
6. Categoría de patrón de eventos: La categoría de patrón de eventos a la que hace referencia el documento, de acuerdo con las clasificaciones desarrolladas en la sección 2.1. Esto está relacionado a RQ2.

### Proceso de síntesis

Los datos de los estudios seleccionados se organizan y presentan de manera que se puedan extraer conclusiones significativas. Esto puede incluir meta-análisis, donde se combinan estadísticamente los resultados de estudios similares. Este proceso de síntesis se realizará teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Extracción de datos, revisando detallada y cuidadosamente los artículos, observando la existencia de patrones no incluidos en la postulación.
- Codificación sistemática de datos, identificando categorías y resultados en todo el conjunto de datos.
- Completar tablas y gráficos de análisis propuestos con los datos codificados.
- Encontrar otras temáticas no analizadas en las preguntas formuladas de la investigación.
- Verificar la fiabilidad de la síntesis y que las preguntas formuladas se encuentren contempladas en los resultados obtenidos.

## Ejecución de la RSL

Se realizó una búsqueda sistemática en los cuatro buscadores de bibliotecas electrónicas seleccionados. Se empleó un rango de fecha para la búsqueda entre enero de 2014 y diciembre de 2024 inclusive. Para cada buscador se construyó una cadena nativa de búsqueda, las que se observan en **Tabla 2**.

**Tabla 2. Cadenas de búsqueda según el buscador**

| Buscador | Cadena de búsqueda |
|---|---|
| IEEE | ("Document Title":blockchain) AND ("Document Title":pattern)<br>Filters Applied: 2014 – 2024<br>Subscribed Content |
| Science Direct | Search in: Title, abstract<br>Keywords: blockchain, pattern<br>Filters Applied: 2014 – 2024 |
| RIA | [Titulo, contiene: contrato inteligente] AND [Titulo, contiene: patrones de eventos]<br>Filters Applied: 2014 – 2024 |
| Google académico | Search allintitle: pattern blockchain<br>Filters Applied: 2014 – 2024 |

Al ejecutar las cadenas de búsqueda en cada buscador, se encontró un total de setenta y dos (72) documentos. Se leyeron los documentos, para realizar un filtro de interés específico, respecto del tema de la investigación. Como resultado de la lectura, se realizó una selección minuciosa que redujo la cantidad a diez (10) documentos de interés para el tema de la investigación, con la distribución que se muestra en **Tabla 3** y en la **Figura 1**:

**Tabla 3. Documentos encontrados y documentos de interés por buscador**

| Buscador | Encontrados | De interés |
|---|---|---|
| IEEE | 2 | 2 |
| Science Direct | 21 | 5 |
| RIA | 43 | 2 |
| Google académico | 6 | 1 |
| **Total** | **72** | **10** |

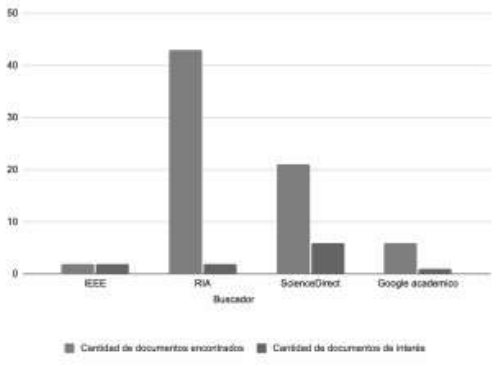


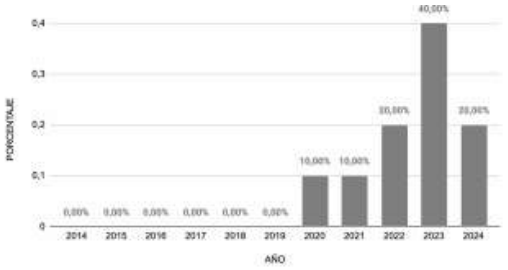

**Figura 1. Gráfico comparativo entre documentos encontrados y documentos de interés por buscador**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Los documentos que resultaron de interés para el objetivo de este trabajo presentaron la distribución temporal que se observa en **Figura 2**:

**Figura 2. Distribución temporal de los documentos de interés**




En función de esta investigación y su temática, los buscadores rindieron en forma disímil en el resultado de documentos de interés encontrados, siendo su distribución la que se detalla en la **Tabla 4**. Es de destacar que, tomando todas las búsquedas como un conjunto unificado de documentos encontrados por todos los buscadores, el porcentaje de documentos de interés para el objetivo de investigación representa en un 13,89 %.

**Tabla 4. Porcentaje de documentos de interés encontrados en cada buscador respecto del total de documentos del mismo buscador**

| Buscador | Porcentaje de documentos de interés | De interés / encontrados |
|---|---|---|
| IEEE | 100 % | 2 / 2 |
| Science Direct | 28,57 % | 6 / 21 |
| RIA | 4,65 % | 2 / 43 |
| Google académico | 16,67 % | 1 / 6 |
| **Sobre el total** | **13,89%** | **10 / 72** |

La relevancia de cada buscador respecto de los demás indica que en un buscador se obtuvo la mayor cantidad de documentos de interés del extracto que resultó de la búsqueda: ScienceDirect 54,5 %. La mencionada distribución se puede ver a continuación en la **Figura 3**:

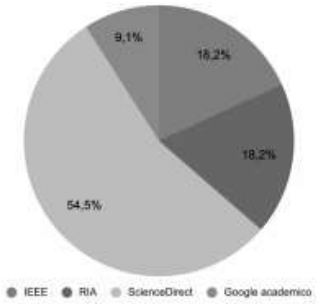



**Figura 3. Porcentaje de documentos de interés por buscador**

Finalmente, el análisis de los documentos encontrados y clasificados de interés permitió identificar las categorías de patrones de eventos que tratan en su narrativa, describiendo distintas propuestas de uso en el modelado de Contratos Inteligentes.

Las categorías de patrones de eventos que se identificaron en los documentos de interés son los que se detallan en la **Tabla 5**:

**Tabla 5. Porcentaje de documentos de interés**

| Categoría de patrón de eventos | Cantidad de documentos |
|---|---|
| Generación de eventos | 3 |
| Procesamiento de eventos | 6 |
| Reacción a eventos | 1 |
| **Total de documentos de interés** | **10** |

Esta RSL realiza una aproximación inicial al estado del arte que fundamente la propuesta de un método de aplicación de patrones de eventos en el modelado de Contratos Inteligentes. Como apéndice de este trabajo, se publica en el sitio web del Centro de Investigación donde se radica el presente proyecto, el listado de documentos de interés seleccionados y los documentos de trabajo de la RSL [13].

## Conclusiones

Como resultado de la RSL, se encontraron diez (10) estudios primarios de interés, publicados entre enero de 2020 y diciembre de 2024.

En esta revisión sistemática hay coincidencias en las categorías de patrones de eventos que estaban identificados en la clasificación previa a la ejecución de la RSL.

Se pudo observar en los documentos de interés que se destaca el empleo de patrones de procesamiento de eventos en el modelado de contratos inteligentes y los casos de uso de ciberseguridad, identidad digital y "tokenización" de energía.

Se observa una popularidad del tema con una distribución aproximada a la normal desde el año 2020, alcanzando su punto más alto en el año 2023 y conservando relevancia durante el 2024. De acuerdo a esta distribución, se proyecta que continuaría el interés por los patrones de eventos en los próximos años. Esto señala un interés variable en la problemática planteada y una oportunidad para profundizar el estudio de patrones de eventos empleados en otras fases de la construcción de Contratos Inteligentes. En cuanto a los buscadores, se debe resaltar que el 54,5 % de los documentos de interés

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



encontrados se hallan indexados en las bases de datos ScienceDirect, lo que se explica por la especialización en temas de informática y tecnologías emergentes.

Respecto de los repositorios de búsqueda seleccionados para realizar el trabajo, se puede decir que algunos sin dudas se destacan, por la versatilidad con la que se puede realizar la exploración, y repetir el intento con total naturalidad, sin encontrar mayores dificultades. Pero otros requerirán de una tarea menos sistémica, con mayor elaboración manual y de búsqueda uno a uno dentro de resultados, como desventaja para realizar búsquedas fuertemente acotadas, como por ejemplo ocurre con RIA y Google Académico.

En cuanto a los trabajos futuros del proyecto de investigación vigente, con la información analizada de la RSL, se describirán los patrones de eventos y su funcionamiento. También, se identificarán categorías de patrones de eventos, y sus catálogos, que apliquen al modelado de Contratos Inteligentes Con ellos, se formalizarán una heurística de asociación a cada problemática de Contratos Inteligentes, denominadas casos de uso.

Luego, se realizará el diseño, planificación y ejecución de estudios de caso de modelado de contratos inteligentes basado en patrones de eventos. Se procederá a investigar la viabilidad de aplicación de los patrones de eventos y a verificar si la gestión de patrones contempla y resuelve los déficits de reusabilidad identificados en el Modelado Conceptual de sistemas de información que no estuvieron basados en patrones.

Finalmente, se definirá y evaluará empíricamente, un método de modelado de Contratos Inteligentes basado en patrones de eventos, analizando y divulgando sus resultados.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a U.T.N., por medio del Centro CIDS y a CYTED, por medio de la Red RIBCi, por el apoyo financiero que hizo posible la realización de este proyecto de investigación y la vinculación internacional de su equipo de investigadores respectivamente.

## Referencias

[1] M.M. Marciszack, J.C. Moreno, C.E. Sánchez, O.C. Medina, A.F. Delgado, C.S. Castro, “Patrones en la construcción del Modelo Conceptual para sistemas de información”, 2018.

[2] Medina, O.C., Pérez Cota, M., Meloni, B.E., Marciszack, M.M., “Business Patterns Catalogue and selection proposal for the Conceptual Model of a software product”, International Journal of Universal Computer Science (J.UCS) 27(2), págs. 135-151, Editorial J.UCS Consortium, 2021.

[3] Medina, O.C., Marciszack, M.A., Romero, R.A., Meloni, B.E, Strub, A.M., Romero, M.S., Morardo, D., Nájera Gibert, J.I., “Una aproximación al uso de patrones de eventos para el modelado de contratos inteligentes”, Revista Realidad Empresarial N° 19, Especial 2024, 7-18, Ed. Universidad UCA, El Salvador, 2024.

[4] Medina, O.C., “El rol de blockchain y la ciberseguridad en la economía del conocimiento”, Revista Realidad Empresarial N° 19, Especial 2024, 4-5, Ed. Universidad UCA, El Salvador, 2024.

[5] Kitchenham B., Brereton P., “A systematic review of systematic review process research in software engineering”, Information and Software Technology, 55:(12), pp. 2049-2075, 2013.

[6] M. Genero Bocco, M., J.A. Cruz-Lemus., M.G. Piattini Velthuis, “Métodos de investigación en ingeniería de software”, 2014.

[7] H.E. Eriksson & M. Penker, “Business Modeling with UML: Business Patterns at Work”, 2000.

[8] I. Sommerville, “Ingeniería de Software”, 2011.

[9] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, “Design Patterns – Elements of Reusable Object-Oriented Software”, 1994.

[10] Moreno, J.C., Marciszack, M.A., Groppo, M.A., “Una Ontología de Usabilidad Basada en Buenas Prácticas para el Modelado Conceptual de los Sistemas”, Núm. AJEA 37 (2024): VII Jornada de Intercambio y Difusión de los Resultados de Investigaciones de Estudiantes de Doctorado UTN, 2024.

[11] Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H. Sommerlad, P., Stal, P., “Pattern-oriented software architecture: A system of patterns”, 1996.

[12] Maidin, S., Yahya, N., Fauzi, M., & Bakar, N., “Current and Future Trends for Sustainable Software Development: Software Security in Agile and Hybrid Agile through Bibliometric Analysis”, Journal of Applied Data Sciences, 6(1), 311-324, 2024.

[13] CIDS Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información, accedido desde http://www.cids.frc.utn.edu.ar.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Evaluación de eficacia y eficiencia del uso de patrones de eventos en el modelado de contratos inteligentes

*Oscar Carlos Medina, Julio Martín Bono, Brenda Elizabeth Meloni, Ana María Strub, Marcelo Martín Marciszack, Diego Morardo*
*Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba*
*{omedina, jbono , bmeloni, astrub, mmarciszack}@frc.utn.edu.ar, diegomorardo@gmail.com*

## Resumen

*Este trabajo presenta los resultados de un experimento controlado diseñado para evaluar la eficacia y eficiencia en la comprensión de modelos conceptuales de contratos inteligentes mediante el uso de patrones de eventos. El estudio se realizó con 69 estudiantes universitarios avanzados de Ingeniería en Sistemas de Información. Se utilizaron tres tratamientos: patrón de eventos, descripción narrativa y ambos combinados. Los resultados muestran que el uso exclusivo de patrones de eventos mejora la eficiencia en la comprensión, mientras que no se hallaron diferencias significativas en la efectividad. Se discuten implicancias metodológicas y se proponen líneas futuras de investigación empírica en Ingeniería de Software.*

## 1. Introducción

En los últimos años, la adopción de tecnologías emergentes como **Blockchain** ha transformado la forma en que las organizaciones diseñan, implementan y verifican sistemas distribuidos seguros. En este contexto, los **contratos inteligentes** (smart contracts) se consolidan como componentes esenciales para la automatización de acuerdos, al permitir la ejecución descentralizada de procesos previamente definidos bajo determinadas condiciones. Sin embargo, la complejidad inherente al diseño y comprensión de los contratos inteligentes impone nuevos desafíos en la fase de modelado conceptual, especialmente en la definición precisa de su comportamiento y condiciones de activación [1].

Una alternativa prometedora es el uso de **patrones de eventos**, entendidos como soluciones recurrentes y estructuradas para representar y gestionar eventos en sistemas de información [2]. Estos patrones permiten modelar condiciones disparadoras y respuestas esperadas de manera estandarizada, favoreciendo la **reutilización del conocimiento** y una mayor claridad en los modelos. En trabajos anteriores se ha planteado la hipótesis de que aplicar patrones de eventos en el modelado conceptual de contratos inteligentes podría facilitar su comprensión, especialmente en las primeras etapas de desarrollo [3][4].

El presente trabajo se enmarca en un proyecto de investigación de modelado de contratos inteligentes basado en patrones de eventos. El objetivo principal es **evaluar empíricamente la eficacia y la eficiencia** del uso de patrones de eventos en la comprensión de modelos conceptuales de contratos inteligentes. Para ello, se diseñó y ejecutó un experimento controlado con estudiantes avanzados de Ingeniería en Sistemas de Información, considerados representativos de ingenieros de software en formación. Todo el material utilizado en el experimento se encuentra disponible en el sitio web del Centro de Investigación [5]

La estructura del artículo es la siguiente: en la sección 2 se describe la planificación del experimento, incluyendo objetivos, hipótesis, diseño, variables e instrumentos. En la sección 3 se detalla la ejecución del estudio. En la sección 4 se presentan los resultados obtenidos y el análisis estadístico correspondiente. La sección 5 discute los hallazgos en relación con la literatura actual. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y se proponen líneas de trabajo futuro.

## 2. Planificación del experimento

El experimento fue concebido para evaluar la metodología propuesta del proyecto de modelado de contratos inteligentes basado en patrones de eventos, cuyo objetivo general es optimizar la definición inicial del comportamiento de contratos inteligentes mediante el uso de patrones reutilizables. Este trabajo extiende investigaciones anteriores sobre patrones de eventos [3][4], incorporando un experimento controlado que no ha sido reportado previamente. La presente sección detalla el diseño experimental siguiendo lineamientos de la Ingeniería de Software Empírica, particularmente los propuestos por Wohlin et al. [6] y Genero et al. [7], contemplando contexto, sujetos, variables, hipótesis, diseño y validez.

### 2.1. Objetivo y objeto de estudio

El objetivo del experimento fue **evaluar la facilidad de comprensión** de modelos conceptuales de contratos inteligentes utilizando distintas formas de representación:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Solo patrón de eventos (P)
- Solo descripción narrativa (N)
- Ambas combinadas (PN)

El objeto de estudio fue un sistema de trazabilidad alimentaria para la producción y distribución de puré de papas, modelado mediante el estándar EPCIS (Electronic Product Code Information Services) de GS1 (Global Standards One). GS1 es una organización internacional sin fines de lucro que desarrolla estándares globales para la identificación, captura y compartición de datos en cadenas de suministro (incluye códigos de barras, RFID y códigos QR). Durante el desarrollo del proyecto, se hizo el hallazgo de un patrón de eventos para la cadena de suministro definido dentro del mencionado estándar EPCIS. Es por ello que se utilizó como caso representativo de sistemas basados en Blockchain aplicados a cadenas de suministro, un área en la que los contratos inteligentes tienen alta aplicabilidad [8].

### 2.2. Sujetos y contexto

Participaron **69 estudiantes** de cuarto y quinto año de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, distribuidos en dos cátedras: Administración de Sistemas de Información (ADSI, n=43) y Seguridad en Sistemas de Información (SSI, n=26). Los estudiantes fueron considerados sujetos adecuados por poseer conocimientos previos en modelado conceptual y tecnologías emergentes.

Para garantizar la homogeneidad entre grupos, los sujetos fueron asignados utilizando una combinación ponderada del resultado de un **pre-cuestionario** específico, con un peso de 70%, y la nota obtenida en la materia Análisis de Sistemas de Información, con un peso de 30%.

Esta calificación se utilizó para conformar tres grupos balanceados de 23 estudiantes:

- GP: solo patrón de eventos
- GN: solo narrativa
- GPN: ambos.

### 2.3. Variables

Se definieron dos variables dependientes:

- **Efectividad (FcEffec):** medida de la corrección de las respuestas al cuestionario de comprensión. Calculada en base a respuestas correctas, parcialmente correctas e incorrectas.
- **Eficiencia (FcEffic):** relación entre respuestas correctas y el tiempo de resolución.

La variable independiente fue el **tipo de representación conceptual**, con tres niveles: P, N y PN.

### 2.4. Hipótesis

Se formularon las siguientes hipótesis:

- $H_{1,0}$: No existen diferencias significativas en la efectividad entre tratamientos P, N y PN.
- $H_{1,1}$: Existen diferencias significativas en la efectividad entre tratamientos.
- $H_{2,0}$: No existen diferencias significativas en la eficiencia entre tratamientos.
- $H_{2,1}$: Existen diferencias significativas en la eficiencia entre tratamientos.

### 2.5. Diseño experimental

El diseño seleccionado fue **inter-sujetos equilibrado**, asignando un único tratamiento por sujeto. Este diseño busca evitar el efecto de aprendizaje o transferencia entre condiciones, garantizando independencia de las observaciones. Se utilizó asignación aleatoria balanceada y se evitaron amenazas a la validez mediante control de variables individuales, ceguera simple y supervisión estricta durante la ejecución.

### 2.6. Instrumentación

Se elaboraron tres instrumentos clave:

1. **Materiales de tratamiento:** patrón de eventos, narrativa textual y combinación de ambos.
2. **Cuestionario de comprensión:** 10 preguntas cerradas sobre el sistema modelado (ver **Tabla 1**).
3. **Cuestionario post-experimento:** ítems tipo "likert" para captar percepción de dificultad, utilidad del material y suficiencia temporal.

Se garantizaron validez y confiabilidad mediante revisión entre pares, estudio piloto con investigadores y aleatorización en el orden de preguntas y respuestas.

**Tabla 1. Pre-cuestionario para conformar grupos**

| Preguntas | Respuestas |
|---|---|
| ¿Cuáles son los estados del proceso disponibilidad en calendario? | • Agendar, No agendar y Cancelar.<br>• Hay disponibilidad, Ocupada y Libre.<br>• **Ocupada y Libre. (X)** |
| ¿Cuál es un evento EPCIS del estándar GS1? | • Producción.<br>• **Desmantelamiento. (X)**<br>• Transporte logístico.<br>• Almacenamiento. |
| ¿Cuál NO es un atributo del patrón de eventos? | • **Innovación. (X)**<br>• Motivación.<br>• Estructura.<br>• Ejemplo. |
| ¿Cuál es la función principal de un proceso? | • Administrar alcance, tiempo y recursos de un proyecto.<br>• Representar gráficamente la estructura de una organización.<br>• **Producir una salida específica para un cliente o mercado. (X)**<br>• Detallar roles y funciones de los integrantes de un proyecto. |
| ¿Cuáles son los componentes de un patrón? | • Problema, solución y métodos.<br>• Objeto, atributos y métodos.<br>• Objeto, comportamiento y contexto.<br>• **Problema, solución y contexto. (X)** |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | |
|---|---|
| ¿Cuál fue el primer tipo de patrón aplicado a la ingeniería de software? | • **Patrones de diseño. (X)**<br>• Patrones orientados a objetos.<br>• Patrones de negocio.<br>• Patrones de análisis. |
| ¿Qué tipo de patrón es el más adecuado para abordar problemas de la estructura general de un sistema? | • Patrones de diseño.<br>• Patrones de negocio.<br>• **Patrones de arquitectura. (X)**<br>• Patrones de análisis. |
| ¿Cuál de estos patrones NO es del tipo patrón de arquitectura? | • **Patrón de objetivos. (X)**<br>• Patrón de eventos.<br>• Patrón de microservicios.<br>• Patrón hexagonal. |
| ¿En qué tipo de patrón se visualizan gráficamente los cambios de estado de un proceso? | • Patrón de transición de estados.<br>• Patrón de objetivos.<br>• **Patrón de eventos. (X)**<br>• Patrón de microservicios. |
| ¿"Imaginely" es una herramienta para crear un D.T.E. en línea? | • Si.<br>• **No. (X)** |
| | **(X)** = Respuesta correcta. |

### 2.7. Validez

Se abordaron múltiples amenazas a la validez siguiendo el marco de Wohlin et al. [6]:

- **Interna:** balanceo de grupos, anonimato, entorno controlado, no evaluación calificada.
- **Externa:** selección de sujetos representativos de ingenieros noveles; replicabilidad.
- **De constructo:** validación de instrumentos, uso de estándares como EPCIS.
- **Conclusión:** aplicación de tests estadísticos apropiados según la distribución de datos.

## 3. Ejecución del experimento

El experimento fue ejecutado en dos jornadas presenciales durante el mes de mayo de 2025, en el ámbito de las cátedras Administración de Sistemas de Información y Seguridad en Sistemas de Información de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. La ejecución se realizó bajo la supervisión de los docentes titulares de las asignaturas y del docente experimentador.

### 3.1. Jornada 1: Taller de formación y pre-cuestionario

La primera jornada se llevó a cabo el **22 de mayo (ADSI) y el 26 de mayo (SSI)**. En esta instancia, se dictó un **taller introductorio** sobre patrones de eventos aplicados al modelado de procesos de negocio. Este taller tuvo una duración de 60 minutos y presentó un ejemplo resuelto y estructurado.

Finalizado el taller, los estudiantes completaron un **pre-cuestionario de 10 preguntas cerradas** orientado a medir conocimientos previos sobre conceptos de modelado conceptual, patrones de eventos e ingeniería de software. El objetivo fue estimar la competencia individual y permitir la conformación de grupos homogéneos.

### 3.2. Asignación de tratamientos

A partir de la combinación del puntaje del pre-cuestionario y de la nota final de la asignatura "Análisis de Sistemas de Información", se calculó una **calificación ponderada por sujeto**. Los 69 estudiantes fueron luego distribuidos secuencialmente en tres grupos de tratamiento:

- **GP:** accedieron solo al patrón de eventos.
- **GN**: accedieron solo a la descripción narrativa.
- **GPN:** accedieron a ambos materiales.

La asignación buscó equilibrar el nivel de conocimientos previos en los tres grupos de 23 estudiantes.

### 3.3. Jornada 2: Desarrollo del experimento

La segunda jornada se realizó el **29 de mayo (ADSI**) y el **30 de mayo (SSI)**. La dinámica incluyó:

1. Entrega de materiales específicos según grupo asignado.
2. Instrucciones del docente experimentador.
3. Acceso al **cuestionario del experimento** en formato digital.
4. Registro automático del tiempo de inicio y finalización.
5. Prohibición de comunicación entre sujetos.
6. Al finalizar, entrega del **cuestionario post-experimento**.

Los estudiantes contaron con **hasta 2 horas** para leer el material, interpretar el caso y responder el cuestionario. Posteriormente, dispusieron de **15 minutos** adicionales para completar el cuestionario de percepción.

### 3.4. Registro y validación de datos

Todas las respuestas fueron registradas automáticamente en la plataforma digital utilizada. El sistema controló tiempos, orden aleatorio de preguntas y consistencia de los datos. Las respuestas fueron validadas por el docente experimentador, quien elaboró una matriz de datos para el análisis estadístico posterior. Las preguntas no respondidas no sumaron puntos y no fueron penalizadas.

## 4. Análisis de resultados

El análisis de los resultados se organizó en tres etapas: estadísticos descriptivos, pruebas de hipótesis y análisis del cuestionario post-experimento. Las dos variables dependientes analizadas fueron:

- **Efectividad (FcEffec):** correctitud en la comprensión del modelo.
- **Eficiencia (FcEffic):** correctitud ponderada por el tiempo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El análisis se hizo sobre 68 estudiantes ya que se identificó un valor atípico en la Eficiencia de uno de ellos, lo cual hizo que desestimemos la información de ese sujeto.

### 4.1. Estadísticos descriptivos

Se calcularon las medidas resumen de ambas variables por grupo de tratamiento (P, N y PN). Las medidas de media, desviación estándar, mínimo, máximo y mediana de las dos variables dependientes se muestran a continuación en las **Tablas 2 y 3**:

**Tabla 2. Medidas descriptivas de Efectividad**

| Grupo | Media | D.E. | Mín. | Máx. | Mediana |
|---|---|---|---|---|---|
| **P** | 0.83 | 0,12 | 0,56 | 1,00 | 0,85 |
| **N** | 0,76 | 0,15 | 0,42 | 0,94 | 0,77 |
| **PN** | 0,71 | 0,14 | 0,40 | 0,89 | 0,70 |

**Tabla 3. Medidas descriptivas de Eficiencia**

| Grupo | Media | D.E. | Mín. | Máx. | Mediana |
|---|---|---|---|---|---|
| **P** | 0,69 | 0,11 | 0,45 | 0,88 | 0,68 |
| **N** | 0,64 | 0,10 | 0,43 | 0,82 | 0,65 |
| **PN** | 0,60 | 0,09 | 0,39 | 0,75 | 0,60 |

Se observa que el grupo P muestra valores superiores a los otros dos grupos.

### 4.2. Análisis de normalidad y varianzas

Se aplicaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks para evaluar normalidad. Además se elaboró el análisis grafico de normalidad para Efectividad y Eficiencia (ver **Figura 1** y **2**).

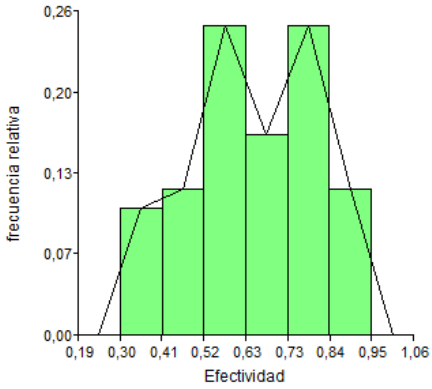



**Figura 1. Análisis de normalidad de Efectividad**

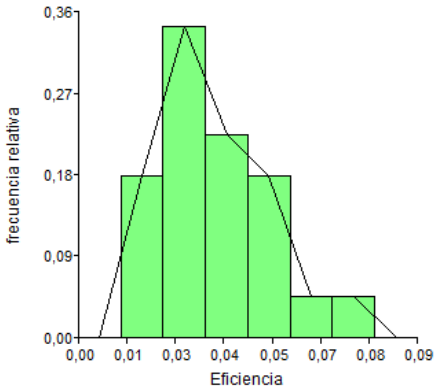



**Figura 2. Análisis de normalidad de Eficiencia**

Los resultados fueron mixtos:

- La variable **FcEffec** se consideró aproximadamente normal (Shapiro-Wilks: $p > 0.05$).
- La variable **FcEffic** no presentó distribución normal ($p < 0.05$).

La prueba F reveló que no se cumple homogeneidad de varianzas en ambos casos, lo que sugiere utilizar pruebas **no paramétricas**.

### 4.3. Contraste de hipótesis

Se aplicó la prueba **Kruskal-Wallis** para ambas variables (ver **Tabla 4**):

**Efectividad (FcEffec):** $p > 0.05$ → **no hay diferencias significativas** entre tratamientos.

**Eficiencia (FcEffic):** $p < 0.05$ → **sí hay diferencias significativas** entre tratamientos.

**Tabla 4. Resultados de Kruskal-Wallis**

| Variable | Estadístico H | p-valor | Decisión |
|---|---|---|---|
| **FcEffec** | 4,52 | 0,104 | No se rechaza $H_{1,0}$ |
| **FcEffic** | 7,91 | 0,019 | Se rechaza $H_{2,0}$ |

Adicionalmente, para **FcEffec**, se realizó una prueba ANOVA como control, que corroboró la no significancia entre grupos ($p > 0.05$).

### 4.4. Cuestionario post-experimento

Los resultados del cuestionario de percepción refuerzan las observaciones cuantitativas.

La mayoría de los estudiantes evaluó la dificultad como “media” y consideró las preguntas “claras” (ver **Figuras 3** y **4**).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**Figura 3. Valoración de dificultad**




**Figura 4. Valoración de claridad**

Los sujetos de GP y GPN manifestaron alta utilidad del patrón de eventos y su Diagrama de Transición de Estados (ver **Figuras 5** y **6**).

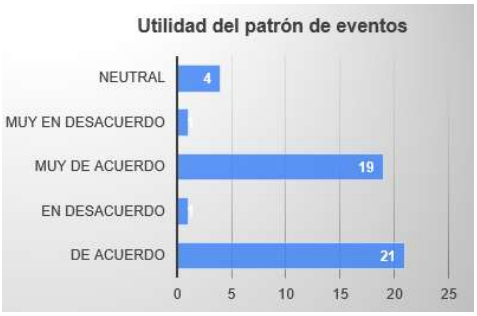



**Figura 5. Utilidad del patrón de eventos**




**Figura 6. Utilidad del D.T.E. del patrón de eventos**

De similar manera, los sujetos que trabajaron con descripción narrativa no tuvieron dificultad para interpretarla, en su mayoría manifestaron estar "de acuerdo" y "muy de acuerdo" casi en igual medida.

## 5. Discusión

Los resultados del experimento permiten abordar con evidencia empírica la influencia del uso de patrones de eventos en la comprensión del modelado conceptual de contratos inteligentes. En primer lugar, los datos descriptivos y el análisis de varianza revelan que el grupo que utilizó exclusivamente patrones de eventos (GP) obtuvo, en promedio, mejores niveles tanto de efectividad como de eficiencia en comparación con los otros grupos. Este hallazgo refuerza la hipótesis de que los patrones estructuran el conocimiento de forma más clara y reutilizable, facilitando la interpretación del modelo.

No obstante, la prueba estadística no permitió rechazar la hipótesis nula respecto a la eficacia, lo que indica que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas. Esto podría explicarse por el tamaño limitado de la muestra y por el hecho de que la tarea de comprensión fue diseñada para ser alcanzable con cualquiera de los tres enfoques.

En contraste, los análisis sí revelaron diferencias significativas en la eficiencia. Es decir, los sujetos que trabajaron con patrones respondieron correctamente en menos tiempo, lo cual puede asociarse a una mayor claridad en la representación visual del comportamiento del sistema. Este resultado es particularmente relevante en contextos donde el tiempo es un factor crítico, como en entornos de desarrollo ágil o sistemas de misión crítica.

Otro resultado interesante es que el grupo GPN (combinación de patrón y narrativa) no superó a los grupos que trabajaron con una sola fuente de información. Esto puede interpretarse como una sobrecarga cognitiva, ya que los sujetos debieron integrar dos formas de representación distintas. La literatura en ingeniería de requisitos y usabilidad ha identificado este efecto al combinar descripciones redundantes o divergentes [9].

En el análisis cualitativo, los estudiantes manifestaron que tanto el patrón como la narrativa fueron útiles, y que el Diagrama de Transición de Estados (D.T.E.) facilitó la visualización del flujo del sistema. Estas percepciones coinciden con los estudios que proponen el uso de visualizaciones para mejorar la comprensión en etapas tempranas del desarrollo de software [10].

Finalmente, cabe destacar que si bien los resultados no permiten generalizaciones amplias (dado que se trata de un experimento académico con estudiantes), sí constituyen una primera validación de la propuesta metodológica, alentando futuras réplicas y extensiones con profesionales en ejercicio y objetos experimentales de otros dominios.

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo presentó un experimento controlado que evaluó el impacto del uso de patrones de eventos sobre la eficacia y eficiencia en la comprensión de modelos conceptuales de contratos inteligentes. El estudio se realizó

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



con 69 estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información, organizados en tres grupos que trabajaron con diferente representación: patrón de eventos, descripción narrativa y ambos combinados.

Los resultados mostraron que los estudiantes que utilizaron únicamente patrones de eventos obtuvieron mejores resultados descriptivos en ambas variables dependientes. Sin embargo, solo en la eficiencia se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos, concluyendo que los patrones permiten comprender correctamente los modelos en menor tiempo. En cuanto a la efectividad, si bien los patrones también alcanzaron los mejores valores medios, no se observaron diferencias significativas con los otros tratamientos.

Desde el punto de vista práctico, los resultados sugieren que el uso de patrones de eventos podría facilitar la tarea de modelado conceptual de contratos inteligentes, al permitir una representación más clara, estructurada y reutilizable. Esto puede resultar particularmente útil en entornos donde se requiere una rápida interpretación y validación de modelos, como sucede en la ingeniería de requisitos o el modelado ágil de sistemas basados en Blockchain.

No obstante, estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que el experimento se llevó a cabo en un entorno académico con sujetos no expertos y con un único objeto experimental. Las amenazas a la validez fueron abordadas desde distintas dimensiones (interna, externa, de constructo y de conclusión), pero aun así, se reconoce la necesidad de réplicas y estudios complementarios en diferentes contextos y con muestras profesionales.

Entre las principales líneas de trabajo futuro, se destacan:

- Ampliar el estudio con nuevos experimentos en otros casos de uso, por ejemplo finanzas descentralizadas, “tokenización” de activos, salud, etc.
- Evaluar la comprensión con tareas de mayor complejidad, que incluyan diseño y verificación de contratos inteligentes.
- Incorporar herramientas automatizadas de generación de patrones y visualización interactiva.
- Investigar el impacto del uso de patrones en otras dimensiones de calidad de software como la mantenibilidad, trazabilidad o seguridad del modelo.

Los resultados obtenidos permiten avanzar en la validación de una propuesta metodológica basada en patrones de eventos, contribuyendo al desarrollo de enfoques sistemáticos para el modelado de contratos inteligentes en ingeniería de software.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a U.T.N., por medio del Centro CIDS y a CYTED, por medio de la Red RIBCi, por el apoyo financiero que hizo posible la realización de este proyecto de investigación y la vinculación internacional de su equipo de investigadores respectivamente. También, a los colegas del CIDS Blockchain Lab que colaboraron con el experimento: José Ignacio Nájera Gibert y Marcos León.

## Referencias

[1] Maidin, S., Yahya, N., Fauzi, M., & Bakar, N., “Current and Future Trends for Sustainable Software Development: Software Security in Agile and Hybrid Agile through Bibliometric Analysis”, Journal of Applied Data Sciences, 6(1), 311-324, 2024.

[2] Marciszack, M.M., Moreno, J.C., Sánchez, C.E., Medina, O.C., Delgado, A.F., Castro, C.S., “Patrones en la construcción del Modelo Conceptual para sistemas de información”, 2018.

[3] Medina, O.C., Romero, R.A., Romero, M.S., Marciszack, M.A., Wismer, A.F., Morardo, D., Bossio, M.F., “Modelado de contratos inteligentes dirigido por casos de uso”, RIA U.T.N., 2023, accedido desde https://ria.utn.edu.ar/items/40301b00-d974-4fc7-944d-f33811e2a86c.

[4] Medina, O.C., Marciszack, M.A., Romero, R.A., Meloni, B.E, Strub, A.M., Romero, M.S., Morardo, D., Nájera Gibert, J.I., “Una aproximación al uso de patrones de eventos para el modelado de contratos inteligentes”, Revista Realidad Empresarial N° 19, Especial 2024, 7-18, Ed. Universidad UCA, El Salvador, 2024.

[5] CIDS Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Sistemas de Información, accedido desde http://www.cids.frc.utn.edu.ar.

[6] Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., & Wesslén, A., “Experimentation in Software Engineering” (2nd ed.). Springer, 2021.

[7] Genero Bocco, M., Cruz-Lemus, J. A., & Piattini Velthuis, M. G., “Métodos de investigación en ingeniería del software”. Madrid, España: Editorial Ra-Ma, 2014.

[8] Khan, M.Z., Kumar, A., Kumar Sahu, A., “Blockchain applications in supply chain management: a systematic review of reviews”, Global Knowledge, Memory and Communication, 74 (3-4): 1191–1208, 2025.

[9] Jedlitschka, A., Méndez Fernández, D., & Wagner, S., “Empirical software engineering: From experiment design to research reporting”. In Perspectives on Data Science for Software Engineering, Springer, 2021.

[10] Torres, J. R., Rodríguez, D., & Piattini, M., “Improving requirements comprehension using conceptual models: An experimental study”. Information and Software Technology, 141, 106728, 2022.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Prototipos de Alta y Baja Fidelidad Asistido por IA: Una Experiencia en Educción de Requisitos en el Contexto del Gobierno del Dato

César Broggi[1], Maximo Agustin Ferrazzano[1], Germán Gaona[1], Verónica A. Bollati[1,2]

[1]*Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC)*

*Facultad Regional Resistencia – Universidad Tecnológica Nacional*

[2] *CONICET*

*{cesar.broggi, agustin.ferrazzano123, germanxgaona, vbollati}@gmail.com*

## Resumen

*La educción de requisitos en sistemas sigue siendo un desafío, especialmente en dominios complejos como el gobierno del dato. Este trabajo describe la construcción de una herramienta de soporte al framework DataProP mediante el uso de prototipos de baja y alta fidelidad asistidos por inteligencia artificial (IA). El proceso se desarrolló aplicando prácticas ágiles como Scrum y Extreme Programming (XP), con iteraciones semanales y el uso de historias de usuario. Los prototipos de baja fidelidad permitieron explorar tempranamente flujos y funcionalidades, mientras que los de alta fidelidad facilitaron la validación visual y estructural con los stakeholders. La incorporación de IA aceleró la generación de prototipos y mejoró la consistencia de las interfaces, sin sustituir la intervención humana. Los resultados muestran que la combinación de prototipado iterativo, metodologías ágiles e IA mejora la precisión en la captura de requisitos y reduce riesgos de retrabajo, aportando un enfoque flexible y adaptable a diferentes contextos.*

## 1. Introducción

Actualmente, a pesar de los avances metodológicos y la disponibilidad de diversas técnicas, la educción de requerimientos continúa representando un desafío crítico en el desarrollo de sistemas, donde entendemos por educción de requerimientos el proceso iterativo y colaborativo de descubrir, obtener, elicitar y comprender las necesidades de los usuarios y stakeholders, buscando la definición precisa de los requisitos funcionales y no funcionales de un sistema. Métodos tradicionales como entrevistas, encuestas, análisis de documentos, talleres colaborativos, observación directa, y el uso de casos de uso, han sido ampliamente utilizados para este fin. Sin embargo, en contextos complejos o dinámicos como el Gobierno del Dato, estos enfoques pueden ser insuficientes para capturar con precisión los requisitos.

El Gobierno del Dato (GD) es el marco de referencia y el conjunto de procesos que una organización implementa para gestionar sus datos como un activo estratégico. Engloba el establecimiento de políticas, estándares y roles que definen la rendición de cuentas y los derechos de decisión, siendo esencial para asegurar la calidad, seguridad y cumplimiento normativo de los datos. En este dominio, los desafíos surgen frecuentemente como problemas de datos (Data Problems), que se manifiestan, por ejemplo, como la falta de un estándar único para la clasificación de clientes en diferentes sistemas, dificultando la generación de reportes consolidados. Dada la complejidad intrínseca de un marco como el Gobierno del Dato, el uso de prototipos ha demostrado ser una técnica eficaz para el relevamiento de requerimientos, especialmente cuando los requisitos no están detallados o no son comprendidos totalmente, asegurando la alineación de las soluciones con las necesidades reales de los usuarios [1]. Los prototipos se distinguen por su fidelidad:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Prototipos de Baja Fidelidad: Son representaciones simples, como wireframes dibujados o esquemas básicos (p. ej., en Draw.io), enfocados en la estructura, la lógica de navegación y la interacción, priorizando la velocidad de creación sobre la estética.

Prototipos de Alta Fidelidad: Son modelos interactivos que simulan la interfaz final (apariencia y look-and-feel), enfocados en la experiencia de usuario (UX) y la validación visual y funcional.

Además, la incorporación de Inteligencia Artificial (IA) generativa en el desarrollo de prototipos ha transformado significativamente la forma en que se diseñan y validan. Su aplicación tanto en su formato de baja como de alta fidelidad permite acelerar el diseño, facilitar la iteración continua y mejorar la calidad visual y funcional de las interfaces [2-3]. Si bien la IA ofrece ventajas sustanciales en términos de eficiencia, creatividad y consistencia, es importante reconocer que su uso no reemplaza la intervención humana, especialmente cuando se requiere comprender y responder a necesidades específicas de los usuarios [4].

En este trabajo se aborda esta brecha presentando el desarrollo y evaluación de una herramienta de soporte a DataProP [5], un framework para la priorización de procesos en el ámbito del gobierno del dato. Esta herramienta ayuda en la toma de decisiones sobre qué procesos de datos implementar en las organizaciones en función de los Data Problems existentes. Para su creación, se utilizaron prototipos de baja y alta fidelidad asistidos por IA para el relevamiento de los requisitos, aplicando prácticas ágiles como Scrum [6] y Extreme Programming (XP) [7], organizadas en sprints semanales, y utilizando historias de usuario.

La implementación de este enfoque permitió adaptar continuamente los requisitos, validar las soluciones de manera temprana y facilitar una integración más fluida entre las necesidades de los usuarios y los procesos del modelo investigado.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 explica el método utilizado, la sección 3 presenta la propuesta; la sección 4 discute los hallazgos, y la sección 5 sintetiza las conclusiones y líneas futuras de investigación.

## 2. Método

Para la gestión del desarrollo de la herramienta de soporte a DataProP se optó por la utilización de Scrum, definiéndose sprints semanales como unidad de planificación y trabajo. Scrum es un marco de trabajo que ayuda a personas, equipos y organizaciones a generar valor mediante soluciones adaptativas a problemas complejos [6]. Su enfoque iterativo e incremental permite optimizar la previsibilidad del proceso de desarrollo y controlar los riesgos asociados. Este framework facilita una evolución continua del producto, favoreciendo la incorporación progresiva de mejoras y validaciones durante todo el proceso.

Además, se utilizó la técnica de programación por pares propia de Extreme Programming (XP) [7], en la cual todo el código es desarrollado por dos personas trabajando juntas en una misma estación de trabajo. Este enfoque promueve la revisión continua del código, mejora la calidad del software, facilita la transferencia de conocimiento entre desarrolladores y reduce la probabilidad de errores en el producto final.

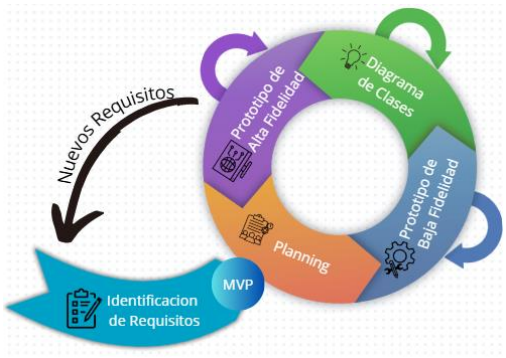



**Figura 1 - Método**

Como se puede observar en la Figura 1 se realizó un sprint inicial para la identificación de los primeros requisitos. En esta actividad se utilizó la herramienta de mapa de historias de usuario [8] para ayudar en la identificación de los mismos.

A partir de este primer conjunto de historias de usuario se procedió a realizar una primera priorización utilizando la técnica MoSCoW [9], que permite priorizar las historias con el objetivo de obtener un Producto Mínimo Viable (MVP) [10] para el inicio del desarrollo.

A partir de este primer MVP definido (Figura 1) se comenzó con la utilización de la técnica de prototipado de baja fidelidad permitiendo representar gráficamente tanto la lógica funcional propuesta como el flujo de navegación de la herramienta. Los prototipos de baja fidelidad [11], por su carácter esquemático y simplificado, funcionan como bocetos que favorecen la conceptualización temprana del diseño, permitiendo una rápida iteración y facilitando la discusión con los stakeholders. En este sentido, su bajo costo de modificación los hace especialmente útiles para identificar y corregir errores de forma temprana, sin comprometer recursos significativos.

Además de servir como un mecanismo efectivo de comunicación entre el equipo de desarrollo y los actores involucrados, estos prototipos fueron evaluados y refinados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de manera iterativa hasta alcanzar un consenso que habilitó el paso siguiente del desarrollo.

Una vez validado el prototipo de baja fidelidad, se elaboró un modelo de clases inicial a través del uso de diagramas de clase. Esto permitió establecer claramente las entidades, atributos y relaciones fundamentales del sistema, asegurando que la arquitectura propuesta respondiera a las necesidades identificadas. Tras su finalización, este modelo fue validado con el experto, y las mejoras necesarias se implementaron en base a la retroalimentación obtenida.

Luego de la aprobación de los diagramas de clases, y para finalizar el ciclo de la Figura 1 se avanzó hacia la construcción del prototipo de alta fidelidad, que a diferencia de los de baja fidelidad, poseen un alto grado de precisión visual y comportamental, simulando de manera más fiel la interfaz final del sistema [12]. Este tipo de prototipo permite probar el diseño con usuarios reales o, en su defecto, obtener retroalimentación directa de los responsables del proyecto, gracias a su mayor capacidad para reflejar la experiencia de uso esperada, para ello se utilizaron diversas tecnologías para asegurar una experiencia consistente y robusta. Este prototipo fue revisado sucesivamente por el experto, incorporando ajustes y mejoras hasta alcanzar un nivel aceptable.

Una vez finalizada la realización del prototipo de alta fidelidad se volvió a iniciar el ciclo de la Figura 1 volviendo a realizar la planning seleccionando nuevos requisitos a realizar.

Adicionalmente durante cualquier paso del ciclo en caso de identificar nuevos requisitos estos fueron agregados al mapa de historia de usuarios generado en el primer paso del método.

## 3. Propuesta

En esta sección se presentan los primeros prototipos diseñados y su evolución, el esquema de retroalimentación implementado para asegurar la coherencia del desarrollo, la distribución de roles dentro del equipo, así como las herramientas tecnológicas que hicieron posible la construcción de la solución.

La propuesta se llevó a cabo mediante dos iteraciones del método definido en la sección anterior, en las que participaron dos becarios cumpliendo el rol de diseñadores y desarrolladores activos en la elaboración y ajuste de los prototipos y un investigador senior que cumplió el rol de Product Owner/Experto, aportando conocimientos específicos, definiendo prioridades y validando continuamente el desarrollo.

Para el desarrollo de los prototipos de baja fidelidad y diagramas, se utilizó la herramienta draw.io. El prototipo de alta fidelidad se desarrolló utilizando Visual Studio Code como entorno de desarrollo principal, React para la construcción de la interfaz gráfica, Django para el backend, Material UI para garantizar una experiencia de usuario atractiva, REST para la comunicación de servicios y PostgreSQL para la gestión eficiente y segura de los datos. Adicionalmente se utilizó Github para el versionado.

Además, se utilizaron herramientas como ChatGPT, Gemini, Github Copilot, entre otras, para agilizar y facilitar el armado de estas. Para los prototipos de baja fidelidad se las utilizó como un experto extra a quien consultar para ayudar con el entendimiento de los requisitos y que debería poseer las distintas pantallas para que cumpla con los requisitos. Por otro lado, el uso de estas herramientas en los prototipos de fidelidad además de como experto se las utilizó para el desarrollo de partes del código, especialmente aquellas pantallas que eran similares a otras creadas anteriormente pero que requieren modificaciones simples.

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las etapas del método definido.

### 3.1 Identificación de Requisitos

La Figura 2 muestra la primera versión del MVP obtenido luego de aplicar la técnica MoSCoW sobre las Historas de Usuarios identificados en el mapa de historias de usuario. Este primer MVP se utilizó para definir el alcance del desarrollo en la primera iteración del método aplicado. El Mapa de Historia de Usuario completo se puede ver en http://bit.ly/4lCr4SE.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



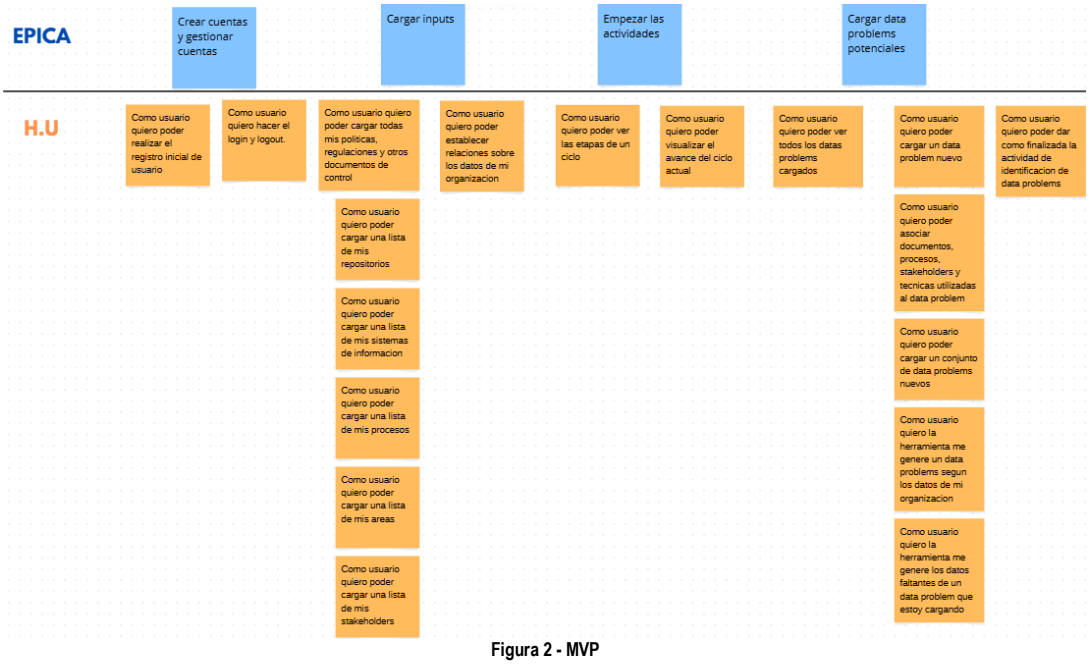



**Figura 2 - MVP**

### 3.2 Prototipos de Baja Fidelidad

A partir de esta definición, se inició el desarrollo de los primeros prototipos de baja fidelidad, lo que permitió visualizar rápidamente las funcionalidades clave del MVP y posibilita una interacción temprana con el Product Owner para su validación y retroalimentación.

La Figura 3 muestra el prototipo inicial de la pantalla de carga de "Data Problem", diseñada para capturar la información esencial de los problemas de datos dentro del framework DataProP, donde se incluyen campos para el "Nombre" y la "Descripción" del problema, así como secciones para registrar la "Fuente de Descubrimiento" y la "Fuente de Confirmación". Adicionalmente, permitía categorizar el problema por "Grupo", "Departamento" y los "Procesos Afectados", y asociar las "Técnicas" utilizadas junto con el "Resultado de la Técnica".

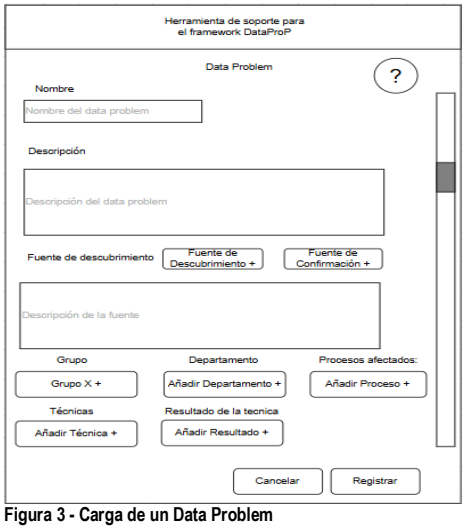



**Figura 3 - Carga de un Data Problem**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por otro lado, la Figura 4 evidencia el primer prototipo de la pantalla para la "Data Problems Cargados", un componente vital para el framework DataProP para la gestión los problemas de datos recién captados permitiendo obtener toda la información cargada de los problemas hasta el momento, como “ID y Nombre”, “Descripción”, “Fuente de Descubrimiento” y áreas afectadas, de manera sencilla, permitiendo agruparlos y filtrarlos, buscar un problema en específico, ordenarlos, botones para editar y eliminar los problemas y cargar nuevos problemas.

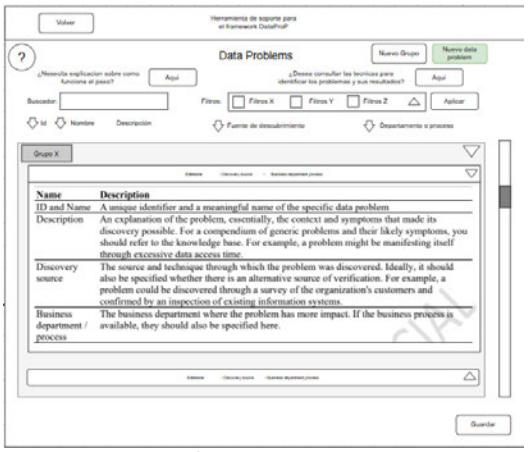



**Figura 4 - Data Problems Cargados**

Se prototipó la pantalla de "Evaluar Data Problems Analizados" (Figura 5), la cual fue diseñada para facilitar la evaluación y gestión de los problemas de datos ya identificados. Este prototipo muestra una tabla con un listado de los problemas, con columnas que incluyen su "Id", "Nombre", "Descripción", "Fuente de descubrimiento", "Departamento o proceso", “Causa raíz”, “Etapas del dato”, “Dimensiones de calidad” y "Evaluación". La pantalla permite a los usuarios buscar y filtrar los problemas. Además, presenta una sección para la "Técnica de evaluación" que permite registrar la "Nota" y el "Nombre o Rol del evaluador", optimizando el proceso de retroalimentación sobre cada problema.

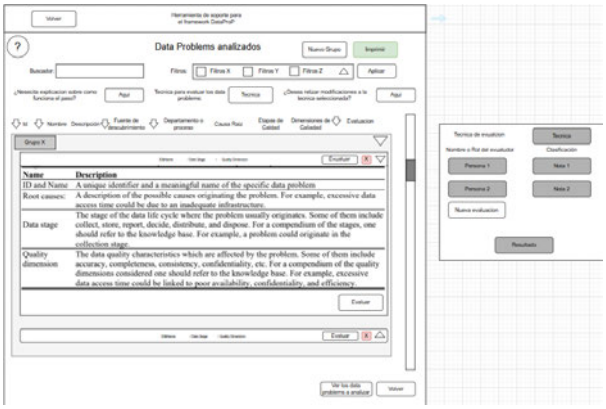



**Figura 5 - Evaluar Data Problems Analizados**

El resto de los prototipos de baja fidelidad pueden ser accedidos desde http://bit.ly/4oU9Mn4

### 3.3 Diagrama de Clases

Una vez definidos y validados los prototipos de baja fidelidad, que ayudó a definir de manera más precisa las Historias de Usuario, se comenzó a definir el modelo de clases inicial, el cual se muestra parcialmente en la Figura 6, (el modelo completo se encuentra en http://bit.ly/4lVrVyg), mediante un diagrama de clases. Este paso fue fundamental porque permitió definir con claridad las entidades principales del sistema (como "Data Problem", "Organización", "Procesos de Negocio", etc.), sus atributos y las relaciones entre ellas.

Este diagrama sirvió como un plano técnico detallado que guió directamente el diseño del prototipo de alta fidelidad. Al tener una representación formal de la arquitectura de datos y las interconexiones, se pudo asegurar que la estructura del sistema respondiera adecuadamente a las necesidades previamente identificadas y que la implementación de la interfaz de usuario de alta fidelidad fuera consistente con el modelo subyacente de la herramienta. Ayudó a visualizar la lógica de negocio y las dependencias de datos antes de invertir tiempo en el diseño visual y funcional más complejo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



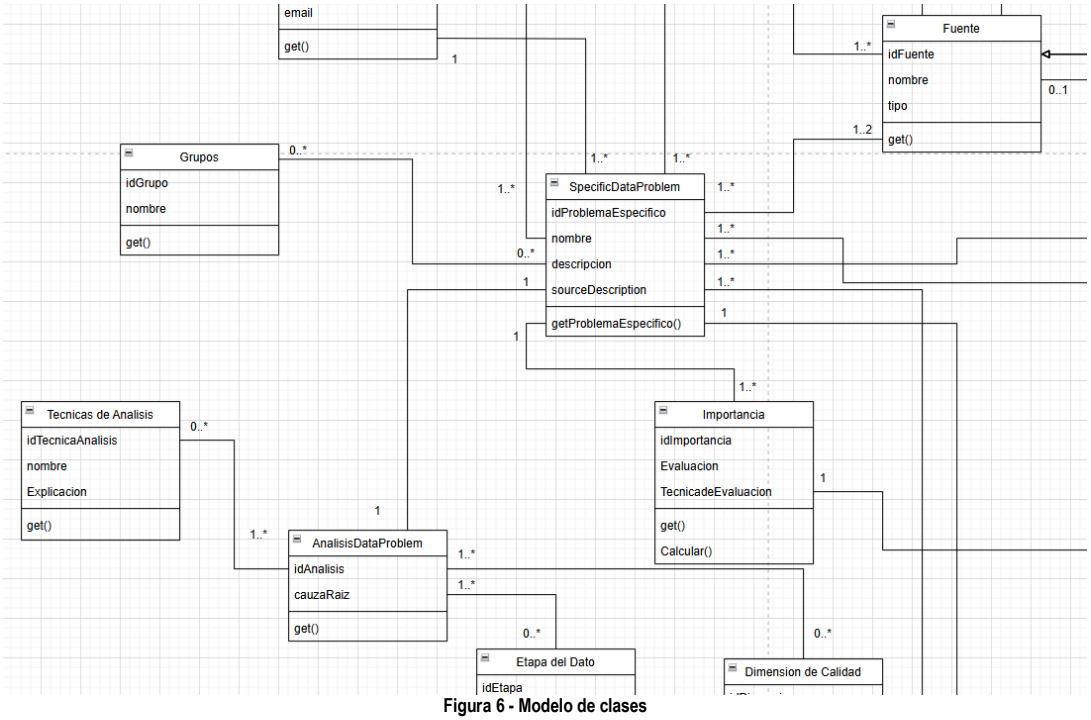



**Figura 6 - Modelo de clases**

### 3.4 Prototipos de Alta Fidelidad

Una vez establecido nuestro modelo estructural y obtenida la retroalimentación del Experto, se procedió al desarrollo de un prototipo de alta fidelidad. Este prototipo buscó refinar la interfaz y la experiencia de usuario, acercándose a la apariencia y funcionalidad del producto final. Se puso especial énfasis en la interacción, el diseño visual y la coherencia con los elementos definidos previamente y el modelo de datos subyacente, incorporando las mejoras surgidas de las revisiones con los stakeholders.

La Figura 7 muestra el prototipo de alta fidelidad de la pantalla de "Identificación de Data Problems", el cual fue refinado para ofrecer una interfaz más completa y estructurada. Presenta pestañas para navegar entre "Información", "Técnicas" y "Carga de Datos", entre otras, y muestra un listado tabular conciso de los problemas de datos, incluyendo su "Nombre", "Descripción", "Fuente", "Stakeholder", "Departamentos" y "Procesos" asociados. Incluye un botón para "Cargar nuevos problemas", consolidando una vista intuitiva para la gestión de problemas.

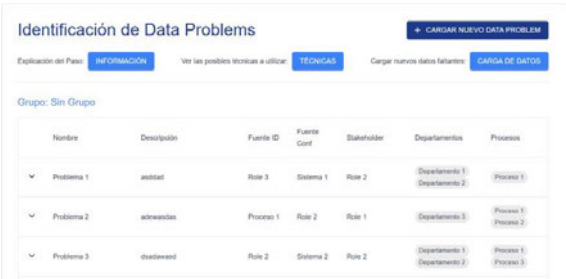



**Figura 7 - Identificación de Data Problems**

Adicionalmente, la Figura 8 presenta el prototipo de la pantalla de "Cargar Nuevo Data Problem", la cual fue diseñada para permitir la entrada detallada de un nuevo problema de datos. Esta interfaz limpia y directa presenta campos obligatorios como "Nombre" y "Descripción" del problema. Además, incluye desplegables para seleccionar la "Fuente de Identificación", la "Técnica de Identificación", la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



"Fuente de Confirmación" y la "Técnica de Confirmación", y un campo para la "Descripción de la Fuente". Este diseño optimiza el proceso de registro, asegurando la captura de toda la información esencial de manera estructurada.




**Figura 8 - Cargar Nuevo Data Problem**

Por último, la Figura 9 expone el prototipo de alta fidelidad de la pantalla de "Evaluación de Data Problems" que fue diseñado para proporcionar una visión sencilla de los problemas de datos cargados y analizados anteriormente. Presenta de manera acertada los datos "Id", "Nombre", "Descripción", "Fuente de descubrimiento", "Departamento o proceso", “Causa raíz”, “Etapas del dato”, “Dimensiones de calidad” y “Evaluación” de los problemas permitiendo expandir para obtener mayor información y evaluar. La interfaz incluye tres botones principales para "Seleccionar la técnica de evaluación", para "Editar los valores de la técnica" y por último el botón “Evaluar” al seleccionar un data problem, permitiendo cargar de manera intuitiva las evaluaciones realizadas por los evaluadores y necesarias para continuar con el framework DataProP.

Durante todo el proceso de desarrollo se implementó un esquema estructurado de retroalimentación continua y revisión iterativa, concebido para asegurar la validación progresiva de los entregables y su coherencia con los objetivos funcionales y conceptuales del proyecto. Las instancias de revisión se realizaron de forma periódica, ya sea semanalmente o al cierre de cada etapa significativa, y contaron con la participación activa del equipo de desarrollo y del experto en gobierno del dato.

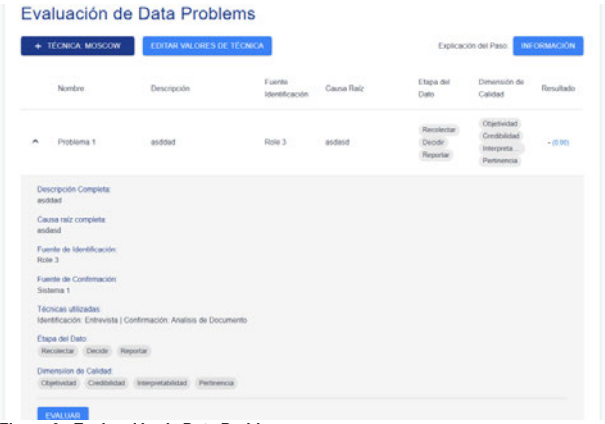



**Figura 9 - Evaluación de Data Problems**

En cada sesión se analizaron los entregables parciales, incluyendo prototipos, diagramas y componentes funcionales, evaluándose su adecuación respecto de los requisitos definidos, la fidelidad con el modelo conceptual de referencia (DataProP) y la calidad de la experiencia de usuario. Esta dinámica permitió la detección temprana de desviaciones, omisiones o inconsistencias, así como la incorporación ágil de mejoras y sugerencias, minimizando riesgos asociados al retrabajo o a la acumulación de errores en fases avanzadas del desarrollo.

Los comentarios y recomendaciones obtenidos fueron documentados, priorizados en el backlog, y abordados en los sprints siguientes, integrándose de manera natural al flujo de trabajo. Este mecanismo de validación recurrente no solo contribuyó a elevar la calidad del producto final, sino que también promovió una evolución sostenida del sistema, alineada con las expectativas del equipo y los requerimientos propios del dominio del gobierno del dato.

## 4. Lecciones Aprendidas

Los resultados obtenidos a partir del proceso de desarrollo de la herramienta basada en el framework DataProP evidencian claramente que los prototipos desempeñaron un rol clave en la comprensión y validación de los requisitos del sistema. La representación visual y funcional temprana permitió a los stakeholders identificar errores, ambigüedades y omisiones en etapas iniciales del proyecto, lo cual contribuyó significativamente a mejorar la precisión y completitud de los requisitos. En particular, los prototipos de baja fidelidad facilitaron la discusión sobre la lógica de funcionamiento, el flujo y la estructura conceptual del sistema, mientras que los de alta fidelidad permitieron validar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aspectos relacionados con la experiencia de usuario y el diseño visual.

Durante las sesiones de revisión iterativa, se observó una mejora progresiva en la claridad de los requisitos, atribuida en gran medida a la capacidad de los prototipos para traducir descripciones abstractas en representaciones concretas, tangibles y evaluables. Esta aproximación visual favoreció la participación activa del Product Owner y del experto en gobierno del dato, fortaleciendo el entendimiento mutuo entre el equipo de desarrollo y los usuarios y reduciendo el riesgo de desalineación entre las expectativas funcionales y las soluciones implementadas.

Asimismo, la incorporación de herramientas de inteligencia artificial en el proceso de prototipado permitió acelerar el diseño y facilitar iteraciones sucesivas. Si bien la IA no sustituyó la intervención humana, su uso permitió automatizar tareas repetitivas, generar componentes visuales coherentes y mejorar la calidad estética y estructural de los prototipos. Este enfoque potenció la creatividad del equipo, promoviendo la exploración de múltiples variantes de diseño en tiempos reducidos. En etapas tempranas, la IA también fue utilizada como apoyo para estructurar las interfaces a partir de descripciones funcionales extraídas de las historias de usuario, contribuyendo a una transición más fluida entre los requisitos narrativos y los elementos visuales del sistema.

En términos cualitativos, los participantes destacaron que la combinación entre prototipado iterativo y herramientas asistidas por IA generó un entorno de trabajo más ágil, colaborativo y centrado en el usuario, permitiendo adaptar el diseño de manera dinámica y reduciendo significativamente los retrabajos en etapas avanzadas del desarrollo.

## 5. Conclusiones

El trabajo presentado ha permitido verificar la eficacia de los prototipos de alta y baja fidelidad asistidos por inteligencia artificial (IA) en el proceso de educción de requisitos. A lo largo de la investigación, se demostró que el uso de prototipos interactivos, impulsados por IA, ofrece un enfoque ágil y flexible que facilita la captura y validación continua de requerimientos, asegurando que las soluciones desarrolladas se ajusten a las necesidades reales de los usuarios. Es fundamental destacar que, si bien la IA fue crucial para acelerar la generación y mejorar la consistencia visual de los prototipos, actuó como una herramienta de asistencia; la intervención humana, especialmente el juicio y el criterio del Product Owner y el experto en gobierno del dato, fue indispensable para la toma de decisiones críticas y la validación final del diseño. La implementación de prácticas ágiles, como Scrum y Extreme Programming (XP), y el uso de la IA para generar y ajustar los prototipos de forma iterativa, constituyó una estrategia efectiva para optimizar la comunicación entre el equipo de desarrollo y los stakeholders en un dominio donde la calidad del software tiene un impacto directo en la gestión de la información estratégica.

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentran la dependencia de la participación activa y constante de los usuarios en cada fase del prototipo para asegurar la validación efectiva de los requerimientos. Además, la herramienta necesita ser evaluada en escenarios más complejos y diversos para corroborar su aplicabilidad y adaptabilidad en diferentes contextos y sectores.

Este estudio ofrece una contribución significativa en relación con investigaciones previas al integrar la validación continua, la participación activa del usuario y la adaptabilidad de los prototipos en tiempo real, demostrando un modelo eficiente para la educción de requisitos en el contexto especializado del gobierno del dato. Sin embargo, la generalización de los resultados y la mejora en la escalabilidad de la herramienta requieren investigaciones adicionales en entornos operativos reales.

En cuanto a los trabajos futuros, se propone ampliar la validación del prototipo en diferentes dominios, mejorar la escalabilidad técnica del sistema y evaluar el impacto cuantitativo de la herramienta en diversos procesos. Adicionalmente, dado que este estudio se realizó con un equipo reducido, sería valioso evaluar cómo el proceso de educción de requisitos y prototipado se adapta a equipos de mayor tamaño y su impacto en la dinámica de trabajo y la eficiencia del desarrollo. Este enfoque no solo demuestra su potencial para el gobierno del dato, sino que también presenta una gran aplicabilidad en otros contextos donde la educción de requisitos y la iteración rápida son cruciales para el desarrollo de soluciones tecnológicas efectivas.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por el proyecto “Gobierno del Dato en AAPP del NEA: Análisis, Adaptación e Implementación de Modelos de Gobierno y Calidad de Datos en las Administraciones Públicas de la Región NEA” (Universidad Tecnológica Nacional, SITCRE0008590) y el CONICET. Se agradece el apoyo de ambas instituciones.

## Referencias

[1] T. Nissinen, "User experience prototyping - a literature review," Oulu, Finland, 2015. [Online]. Available: http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201504221415.pdf

[2] P. G. Enríquez Yépez, W. E. Lascano Tacuri, M. A. Lizano Jácome, and J. M. Altamirano Hidalgo, "Ingeniería de diseño y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



simulación asistida por inteligencia artificial," *Reincisol*, vol. 3, no. 6, pp. 2494–2521, 2024. doi: 10.59282/reincisol.v3(6)2494-2521.

[3] D. Nikalwala and M. H. Patel, "Enhancing Product Designing with the Help of Artificial Intelligence," in *Proc. PICMET Conf.*, 2024, pp. 1–10. doi: 10.23919/picmet64035.2024.10653440.

[4] C. Kamnerddee, P. Putjorn, and J. Intarasirisawat, "AI-Driven Design Thinking: A Comparative Study of Human-Created and AI-Generated UI Prototypes for Mobile Applications," in *Proc. Int. Conf. Inf. Technol. (INCIT)*, 2024, pp. 237–242. doi: 10.1109/incit63192.2024.10810565.

[5] G. Gaona, V. A. Bollati, I. Caballero Muñoz-Reja, and F. Gualo, "Diseño de un sistema de gobierno de datos: un marco de trabajo para la priorización de procesos," in *Actas de las XXVII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2023)*, A. Durán Toro, Ed. Sistedes, 2023. [Online]. Available: https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2023/6178

[6] K. Schwaber and J. Sutherland, *The Scrum Guide*. Scrum.org, 2020.

[7] K. Beck, *Extreme Programming Explained: Embrace Change*, 2nd ed. Addison-Wesley Professional, 2004.

[8] J. Patton and P. Economy, *User Story Mapping: Discover the Whole Story, Build the Right Product*. O'Reilly Media, 2011.

[9] U. Eswaran, V. Eswaran, V. Eswaran, and K. R. Murali, "*Agile Tech*," in *Agile Tech* (Book Section). Routledge, 2024, pp. 48–84. doi: 10.4018/979-8-3693-3318-1.ch004.

[10] V. Lenarduzzi and D. Taibi, "MVP Explained: A Systematic Mapping Study on the Definitions of Minimal Viable Product," in *Proc. Int. Conf. Softw. Eng. Adv. Appl. (SEAA)*, 2016, pp. 112–119. doi: 10.1109/SEAA.2016.56.

[11] J. Arnowitz, M. Arent, and N. Berger, *Effective Prototyping for Software Makers*. Elsevier, 2010.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Importancia de la Documentación para Asegurar la Mantenibilidad en el Ciclo de Vida de un Producto/Sistema de Software

Pablo Becker, Luis Olsina y María Fernanda Papa
*GIDIS_Web, Facultad de Ingeniería, UNLPam*
*General Pico, La Pampa, Argentina*
*{ beckerp, olsinal, pmfer }@ing.unlpam.edu.ar*

## Resumen

*Según estudios de campo, el mantenimiento representa hasta el 90% del costo total del ciclo de vida del software, y se dedica entre un 40 y 60% del esfuerzo solo a entender el sistema. Durante el proceso de mantenimiento, esto es, desde su operación hasta su obsolescencia y retiro, el código fuente suele ser el documento más consultado para entender cómo funciona el software. Por todo esto, garantizar la mantenibilidad del código a lo largo del ciclo de vida de un producto o sistema es fundamental. Entre las buenas prácticas que facilitan la comprensión del código y, por ende, la mantenibilidad, están la adherencia a un estándar de codificación y la inclusión de comentarios. Existen dos tipos de comentarios: los comentarios de documentación, que explican la finalidad y el uso general del código, y los comentarios de implementación, que dan detalles cuando la lógica de un método/función es compleja. Con el fin de abordar estos temas en una asignatura avanzada de Ingeniería en Sistemas, se enseñó a los estudiantes a evaluar la mantenibilidad de un código fuente considerando los aspectos mencionados. Este artículo presenta los requisitos no funcionales, métricas e indicadores propuestos por los docentes, y aborda la importancia de medir la complejidad cognitiva del código para identificar qué métodos o funciones requieren comentarios de implementación.*

## 1. Introducción

El mantenimiento del software constituye una de las fases más prolongadas, complejas y costosas dentro del ciclo de vida de los sistemas. Estudios de campo estiman que puede representar hasta el 90% del costo total asociado a un producto de software [6, 23]. Este proceso incluye desde la corrección de errores hasta la adaptación del sistema a nuevos entornos o requisitos, pasando por la mejora de sus funcionalidades. Dentro de estas actividades, se ha observado que entre un 40% y un 60% del esfuerzo total se destina únicamente a entender el comportamiento y la estructura del sistema antes de realizar cualquier modificación [6].

En este contexto, la documentación del software se convierte en un componente esencial para facilitar el mantenimiento efectivo. Una documentación clara, precisa y actualizada no solo permite reducir significativamente los tiempos de análisis y diagnóstico, sino que también facilita la incorporación de nuevos desarrolladores a un proyecto en curso y minimiza el riesgo de errores introducidos durante la evolución del sistema [19].

A modo de ejemplo, algunos artefactos de documentación del software son: la lista de requisitos, el modelo de datos, el diccionario de datos, el modelo arquitectural, los diagramas de clase, las especificaciones de los casos de prueba, entre muchos otros. Sin embargo, en la práctica, esta documentación suele estar incompleta, desactualizada o, directamente, ausente [6], lo que obliga a los desarrolladores a recurrir a otras fuentes de información para comprender el funcionamiento del sistema tal como el código fuente.

Según [22], existen varios desafíos relacionados a la documentación. Uno de los principales desafíos es la escasa documentación. Este desafío dificulta la transferencia de conocimiento, tiene un impacto negativo en el mantenimiento e introduce una curva de aprendizaje pronunciada para los nuevos miembros del equipo. Otro problema detectado es que, como para los desarrolladores la documentación no contribuye al producto final, esta se termina descuidando. Y, como por lo general, se prioriza la actualización continua del código, pero no su documentación, para muchos desarrolladores el código fuente es considerado la “documentación definitiva”.

En consecuencia, cuando la documentación no está disponible o no resulta confiable, el código fuente suele convertirse en el recurso más importante, y a menudo el único, para entender cómo opera un software [6]. Por esta razón, la calidad del código adquiere una importancia crucial, especialmente en términos de mantenibilidad, es decir, la facilidad con la que puede ser comprendido, diagnosticado, corregido, mejorado y/o adaptado. Garantizar un nivel satisfactorio de mantenibilidad del código fuente a lo largo del tiempo no solo permite reducir costos significativamente, sino que también es la característica esencial de calidad para extender el tiempo de vida de un producto o sistema de software, favoreciendo su capacidad de evolución frente a nuevas necesidades del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



negocio o del entorno tecnológico y retrasando su obsolescencia o "envejecimiento" [18] funcional y estructural.

Entre las prácticas que favorecen la mantenibilidad del código, se destacan la adherencia a estándares de codificación, el uso consistente de nombres significativos, una adecuada modularización del código y, en particular, la inclusión de comentarios pertinentes, que no solo complementan a las instrucciones del código fuente en un lenguaje de programación dado, sino que cumplen un rol clave en la transmisión del conocimiento implícito. En términos generales, los comentarios pueden dividirse en dos categorías principales [24]:

- Comentarios de documentación, que explican la finalidad, uso y comportamiento general de, por ejemplo, clases, campos, funciones o módulos, y
- Comentarios de implementación, que aportan detalles cuando la lógica de un bloque de código en una función o método resulta compleja o no es evidente a simple vista.

Dado que los comentarios del primer tipo permiten utilizar el componente o la clase y sus métodos sin necesidad de leer una sola línea del código fuente, estos son fundamentales y deberían ser obligatorios [24]. En cuanto a los comentarios del segundo tipo, por lo general, se escriben cuando el desarrollador intuye que pueden ser útiles para entender una parte del código, en particular, de un conjunto de instrucciones anidadas y/o serie de operadores que pueden implicar cierta complejidad en la comprensión ulterior. Sin embargo, hasta el presente, en la literatura no suele haber un criterio objetivo que determine cuándo escribirlos.

Dada la importancia del mantenimiento dentro del ciclo de vida del software, y considerando que el código fuente es el principal artefacto a modificar y que este suele ser el documento más consultado para entender un producto/sistema, es crucial que los futuros ingenieros en sistemas aprendan a medir y evaluar su mantenibilidad durante la formación académica. Enseñar esta habilidad es fundamental para preparar a los profesionales, asegurando que puedan desarrollar sistemas que sean fáciles de analizar, corregir, adaptar y actualizar a lo largo del tiempo.

Con este objetivo en mente, en la asignatura Ingeniería de Software II de la Facultad de Ingeniería de la UNLPam (Universidad Nacional de La Pampa) se propuso a los estudiantes del presente año (2025) como trabajo integrador utilizar un conjunto de requisitos no funcionales, métricas e indicadores para evaluar la mantenibilidad de un código fuente en Java considerando la adherencia a una guía de estilo de programación y el uso de comentarios. En este artículo se presenta el diseño y empleo de las métricas e indicadores propuestos por los docentes y se propone considerar la complejidad cognitiva [4, 5] del código para identificar de una manera objetiva qué métodos o funciones requieren comentarios de implementación.

Las secciones restantes se organizan de la siguiente manera. La Sección 2 describe el contexto que motivó la realización de este trabajo. La Sección 3 incluye algunos fundamentos conceptuales sobre requisitos no funcionales, métricas, indicadores y estrategias de evaluación, mientras que la Sección 4 proporciona detalles de la aplicación de los fundamentos al caso propuesto para evaluar la mantenibilidad de un código fuente en Java considerando la adherencia a una guía de estilo de programación y el uso de comentarios. La Sección 5 considera los trabajos relacionados. La Sección 6 incluye una discusión sobre la importancia de la documentación para favorecer la mantenibilidad al usar metodologías ágiles. Y, por último, en la Sección 7 se presentan las consideraciones finales y propuesta de trabajos futuros.

## 2. Contexto y Motivación

En la asignatura del último año denominada Ingeniería de Software II se imparten los conceptos y prácticas sobre requisitos no funcionales, medición, evaluación y mejora de la calidad de un producto o sistema de software usando estrategias que incluyen procesos, métodos y herramientas. Desde el punto de vista práctico, en el contexto del segundo examen de la asignatura, se pide a los estudiantes resolver una situación problema durante el último mes del cuatrimestre y así integrar y aplicar todos los conceptos vistos. Este examen es obligatorio y grupal, y se documenta en un trabajo monográfico que permite al cuerpo docente evaluar las habilidades técnicas alcanzadas por los estudiantes, entre otras habilidades como la comunicación.

En los últimos años, los casos abordados en el segundo examen se han enfocado en cuestiones relacionadas a la Mantenibilidad. Por ejemplo, para el año lectivo 2023 los estudiantes debieron evaluar la calidad de un código fuente Java considerando como requisitos no funcionales la Analizabilidad y la Testeabilidad (ambas sub-características de Mantenibilidad según ISO/IEC 25010 [13]). En [3] se presenta un trabajo relacionado al caso del año 2023, en el que se incluyeron los diferentes atributos. Por ejemplo, para Analizabilidad se incluyó el atributo "Comprensibilidad del flujo de control", el cual se relaciona con la complejidad cognitiva, es decir, con el esfuerzo que debe realizar una persona para comprender un algoritmo. Y para Testeabilidad se incluyó el atributo "Complejidad del flujo de control", el cual está relacionado con la complejidad ciclomática [14]. La complejidad ciclomática representa la cantidad de caminos independientes que existen en un fragmento de código y, en consecuencia, la cantidad de pruebas que deben realizarse para que cada sentencia se ejecute al menos una vez.

Luego, para el año 2024, el trabajo se enfocó en resolver un caso relacionado a la evaluación de la Adherencia de un código Java considerando el cumplimiento o adherencia a un conjunto seleccionado de ítems de la guía de estilo de Google para Java [10]. Dicho caso surgió a partir de trabajos como el de Elish y Offutt [8] que indican que la adherencia a estándares de codificación se considera esencial para garantizar un software legible y comprensible, y, por lo tanto, más fácil de mantener y reutilizar. En [17] se presenta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



un trabajo relacionado al caso desarrollado en el año 2024.

En el presente año, considerando que hay evidencia de que el código fuente y los comentarios son relevantes para quienes mantienen el software [6], se diseñó un caso que permita resaltar la importancia de documentar el código para favorecer la mantenibilidad. Con este fin se incluyeron requisitos no funcionales relacionados a los comentarios de documentación y de implementación. Además, se volvió a incluir algunos atributos relacionados a la Adherencia a un estándar de codificación.

Al igual que en años anteriores, los estudiantes evaluaron un código fuente en Java. Se busca utilizar códigos en Java dado que este es un lenguaje que los estudiantes conocen muy bien por ser el que se enseña en la asignatura Programación Orientada a Objetos, la cual se imparte en el primer cuatrimestre del tercer año y tiene una carga de aproximadamente 90 horas. En esta oportunidad, el código fuente proporcionado a los estudiantes como caso práctico tenía 130 líneas. El código fuente está disponible en el Apéndice I en https://bit.ly/CoNaIISI25_Apendice.

Es importante mencionar que además de la evaluación de los requisitos no funcionales usando métricas e indicadores, los estudiantes también deben modificar el código a fin de mejorar los atributos de Mantenibilidad con bajo desempeño, y luego realizar una re-evaluación a fin de analizar si se logró la mejora. Para esto deben aplicar la estrategia denominada GOCAMEC (*Goal-Oriented Context-Aware Measurement, Evaluation, and Change*), la cual es parte de una familia de estrategias de evaluación guiadas por actividades de medición y evaluación [15].

Finalmente, tal como se indicó en la sección introductoria, los tipos de documentación para asegurar la Mantenibilidad en el ciclo de vida de un producto/sistema de software, son diversos, de modo que todos podrían ser evaluados y/o mejorados. Sin embargo, en el contexto de la asignatura decidimos acotar el trabajo evaluando principalmente la calidad de la documentación del código fuente.

## 3. Fundamentos Teóricos

Evaluar la calidad de la documentación del software es crucial para asegurar que los desarrolladores encargados del mantenimiento puedan analizar, entender y modificar un sistema de manera eficaz. En Ingeniería de Software, existen diversas estrategias para abordar esta evaluación.

Algunos enfoques comunes se basan en realizar revisiones del material, por ejemplo, incluyendo recorridos (*walkthroughs*) e inspecciones (conocidas también como revisiones técnicas formales). Estas estrategias implican el análisis de diversos artefactos de documentación (como requisitos, diseños, casos de uso y código fuente) en reuniones estructuradas para identificar errores, inconsistencias, ambigüedades y falta de información. Si bien ambas comparten el mismo objetivo general, difieren en su nivel de formalidad y la rigurosidad de su proceso.

Otras estrategias para evaluar la calidad de la

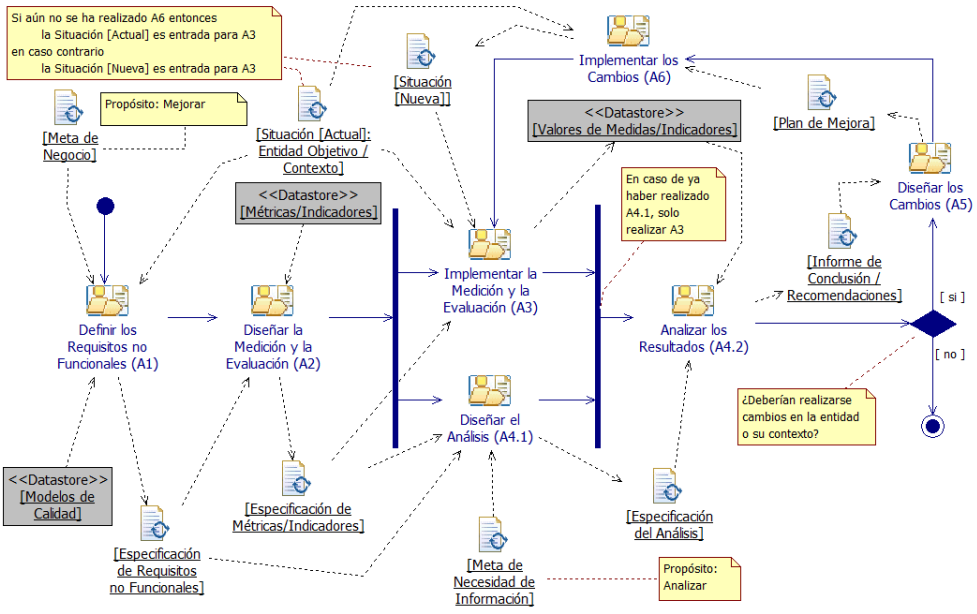



**Figura 1.** Especificación mediante SPEM del proceso de la estrategia de mejora denominada GOCAMEC.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



documentación se fundamentan en el uso de métricas e indicadores. Ejemplos de métricas aplicables incluyen la cobertura de requisitos, la claridad y legibilidad del texto (como los índices de Gunning-Fog [11] para texto en inglés, y el de Fernández-Huerta [9] para texto en español), la complejidad cognitiva del código, y la densidad de comentarios, entre muchas otras.

En la asignatura Ingeniería de Software II, se pone un énfasis especial en enseñar a los estudiantes a aplicar una familia de estrategias que se basan en medición (a través de métricas) y evaluación (mediante indicadores). Estas estrategias están diseñadas para diversos propósitos de evaluación, tales como comprender, mejorar, monitorear y controlar la calidad del software.

La robustez de esta familia de estrategias se asienta en tres pilares fundamentales: las especificaciones del proceso, las especificaciones de los métodos y la especificación del vocabulario. Mientras que las especificaciones del proceso definen "qué" actividades o tareas deben realizarse, las especificaciones de los métodos detallan "cómo" llevar a cabo dichas actividades. A su vez, la especificación del vocabulario asegura que tanto las especificaciones de los procesos como de los métodos de medición y evaluación se basen en una terminología común, promoviendo la consistencia y facilitando el aprendizaje.

Una de las estrategias de evaluación de esta familia se denomina GOCAMEC y guía a los evaluadores a alcanzar el propósito de mejorar. Para el caso aplicado en la Sección 4, esta estrategia permite alcanzar dicho propósito de la siguiente forma: i) comprender el grado de Mantenibilidad del código fuente en cuestión; ii) aplicar cambios a la versión actual del código fuente (v1.0) para mejorar su Mantenibilidad; y iii) comprender el grado de Mantenibilidad del código fuente después de los cambios (es decir, la versión 1.1 del código). La Figura 1 ilustra la especificación del proceso de dicha estrategia. Tal especificación es abordada desde las perspectivas funcional y de comportamiento [7] utilizando el diagrama de actividad de UML y la notación SPEM (*Software & Systems Process Engineering Metamodel*) [16].

Para facilitar la comprensión del caso aplicado en la Sección 4, a continuación, se describen brevemente las actividades que componen el proceso de GOCAMEC, se definen algunos conceptos clave (indicados en *cursiva*) haciendo uso del vocabulario ontológico considerado por la estrategia y se incluyen ejemplos de plantillas utilizadas para especificar métricas e indicadores a ser empleadas como métodos en las actividades de medición y evaluación respectivamente.

Como se observa en la Figura 1, Definir los Requisitos no Funcionales (A1) es la primera actividad del proceso. Básicamente, esta actividad implica identificar la *Entidad Evaluable* y los *Requisitos no Funcionales* a ser evaluados. Según el vocabulario de la Ontología de Dominio Superior de Requisitos No Funcionales (ODS_RNFs), el término *Entidad Evaluable* representa una entidad particular (concreta) que debe ser evaluada. Para el caso desarrollado en la Sección 4, la Entidad Evaluable es un código fuente Java, y en particular el archivo "GUICalculator.java", el cual corresponde a una aplicación básica de una calculadora.

Por otro lado, un *Requisito No Funcional* especifica un aspecto de la calidad, generalmente en la forma de *Característica* o *Atributo*. Un *Atributo* representa un aspecto elemental medible y evaluable, ya sea físico o abstracto, atribuido a una entidad particular. En contraste, una *Característica* representa un aspecto evaluable no elemental atribuido a una entidad particular. Es importante resaltar que una *Característica* puede ser evaluada pero no puede ser medida como un *Atributo*. Además, una *Característica* puede combinar otras *Características* (es decir, *sub-Características*) y/o *Atributos*. Por ejemplo, "Mantenibilidad" es una característica la cual puede agrupar o combinar sub-características como "Analizabilidad" y "Testeabilidad", y "Comprensibilidad del flujo de control" es un atributo que pertenece a "Analizabilidad". En http://bit.ly/ODS_RNFs se pueden hallar todos los términos del componente ODS_RNFs, así como sus propiedades, relaciones y sus correspondientes definiciones (en inglés).

Como resultado de la actividad Definir los Requisitos no Funcionales (A1) se produce una "Especificación de Requisitos no Funcionales". Luego, se lleva a cabo la actividad Diseñar la Medición y la Evaluación (A2). En ella se diseñan o reutilizan –desde un repositorio– métricas e indicadores, y como resultado se produce una "Especificación de Métricas/Indicadores".

De acuerdo con la Ontología de Dominio Inferior de Métricas (ODI_Métricas), una *Métrica* representa un método para medir un atributo de una entidad evaluable. Para ello, una métrica cuenta con la especificación de un procedimiento –que indica cómo realizar la medición del atributo— y una *Escala* que puede ser *Categórica* o *Numérica.* Se distinguen dos tipos de métricas: la *Métrica Directa*, que produce una *Medida Base* a partir de un *Procedimiento de Medición*; y la *Métrica Indirecta*, que obtiene una *Medida Derivada* mediante un *Procedimiento de Cálculo* basado en una fórmula matemática. En http://bit.ly/ODI_Metricas se pueden hallar todos los

**Tabla 1.** Plantilla de especificación de una Métrica Directa.

| | |
|---|---|
| **Nombre de la Métrica Directa:**<br>**Nombre del Atributo cuantificado:** | |
| **Objetivo:**<br>**Autor:** | **Versión:** |
| **Procedimiento de Medición**<br>**Especificación:**<br>**Herramienta de Medición:** (opcional) | **Tipo:** [Objetivo / Subjetivo] |
| **Escala**: [Categórica / Numérica]<br>**Tipo de Valor:** | **Tipo de Escala:**<br>**Representación:** |
| **Unidad** (solo si la Escala es Numérica)<br>**Nombre:**<br>**Acrónimo:**<br>**Descripción:** (opcional) | **Valores permitidos:** (solo si la Escala es Categórica) |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



términos, propiedades, relaciones y sus correspondientes definiciones (en inglés) del componente ODI_Metricas.

Es importante destacar que estos conceptos son fundamentales para la elaboración de plantillas de especificación de métricas. A modo de ilustración, la Tabla 1 presenta una plantilla de especificación de métrica directa, la cual se instanciará en la Sección 4 para la métrica "Número de Métodos en la clase con Alta Complejidad Cognitiva Comentados" (#MACoCoCom).

Adicionalmente, la Ontología de Dominio Inferior de Indicadores (ODI_Indicadores) incluye los conceptos y relaciones destinados a ayudar a especificar el diseño e implementación de la evaluación. Un *Indicador*, dicho de manera sencilla, permite especificar cómo calcular e interpretar el nivel de desempeño de los atributos y características. Existen dos tipos de indicadores, los *Indicadores Elementales* y los *Indicadores Derivados*. Un *Indicador Elemental* evalúa un atributo a partir de una *Función Elemental* que mapea, generalmente mediante una fórmula matemática, un valor medido a un *Valor de Indicador*. Este nuevo valor se interpreta utilizando los *Criterios de Decisión* establecidos para indicar el nivel de aceptabilidad o satisfacción alcanzado por el atributo. Para esto, cada criterio de decisión suele tener *Rangos* asociados para establecer los valores umbrales o límites que determinan los niveles de aceptabilidad. Por otro lado, un *Indicador Derivado* permite evaluar una característica a partir de una *Función de Agregación*. Tal función toma un conjunto de valores de otros indicadores (elementales o derivados) y produce un solo valor que se atribuye a la característica evaluada. Los indicadores derivados también cuentan con criterios de decisión asociados para conocer el nivel de satisfacción alcanzado. Se pueden hallar todas las definiciones (en inglés) de los elementos de este componente ODI_Indicadores en http://bit.ly/ODI_Indicadores.

Estos conceptos sirven de base para la producción de plantillas de especificación de indicadores como la mostrada en la Tabla 2. Un ejemplo de instanciación de esta plantilla, para el indicador elemental "Nivel de Desempeño en la Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos" (ND_DCIM), se presentará en la Sección 4.

Una vez que se ha completado el diseño de todas las métricas e indicadores, se procede con la actividad Implementar la Medición y la Evaluación (A3). Esta consiste en producir las medidas y los valores de los indicadores utilizando las métricas e indicadores de la "Especificación de Métricas/Indicadores" generada previamente.

Como se observa en la Figura 1, la actividad Diseñar el Análisis (A4.1) se puede realizar en paralelo con A3. Su objetivo es establecer los criterios e instrumentos para el análisis de los resultados que serán utilizados en la siguiente actividad denominada Analizar los Resultados (A4.2). Las medidas, los valores de los indicadores y la "Especificación del Análisis" son utilizados como entrada por la actividad A4.2 para producir el "Informe de Conclusión/Recomendaciones". Esta actividad busca

**Tabla 2.** Plantilla de especificación de un Indicador Elemental.

| | |
|---|---|
| **Nombre del Indicador Elemental:**<br>**Nombre del Atributo interpretado:** | |
| **Autor:**<br>**Versión:** | |
| **Función Elemental / Procedimiento de Cálculo**<br>**Especificación:**<br>**Criterios de Decisión** (Niveles de Aceptabilidad)**:**<br>**Nombre:** **Nombre:** ….<br>**Rango:** **Rango:** ….<br>**Descripción:** **Descripción:** …. | |
| **Escala**: [Categórica / Numérica]<br>**Tipo de Valor:** | **Tipo de Escala:**<br>**Representación:** |
| **Unidad** (solo si la Escala es Numérica)<br>**Nombre:**<br>**Acrónimo:**<br>**Descripción:** (opcional) | **Valores permitidos:** (solo si la Escala es Categórica) |

detectar debilidades en aspectos de la entidad evaluada y recomendar cambios.

Si el nivel de aceptabilidad alcanzado es satisfactorio, entonces el proceso de GOCAMEC finaliza. En caso contrario, es decir, si el nivel no es satisfactorio, se toman las recomendaciones de cambio y en la actividad Diseñar los Cambios (A5) se produce un "Plan de Mejora" en el que se detallan los cambios específicos. Las modificaciones –usando métodos como refactorización, entre otros– se deben realizar en la siguiente actividad, denominada Implementar los Cambios (A6). El resultado de A6 es una nueva versión de la entidad evaluada, es decir, una "Nueva Situación".

Finalmente, como se muestra en la Figura 1, después de completar la actividad A6, se debe volver a ejecutar A3 para realizar la medición y evaluación de la nueva versión de la entidad. A partir de los nuevos resultados, en A4.2 se analiza si los cambios han aumentado el nivel de satisfacción alcanzado por los mismos requisitos no funcionales. Si la mejora no es suficiente para alcanzar la meta principal de negocio/necesidad de información, se pueden llevar a cabo nuevos ciclos de cambio, reevaluación y análisis hasta que se logre el objetivo establecido por la organización.

A continuación, se describe el caso aplicado siguiendo el proceso antes descripto de la estrategia GOCAMEC, empleando sus plantillas de especificación de métodos y haciendo uso del vocabulario propuesto.

## 4. Caso Aplicado

En esta sección se describe la aplicación de la estrategia GOCAMEC para mejorar la Mantenibilidad del código fuente "GUICalculator.java". A continuación, se ilustran las actividades representadas en la Figura 1 y se dan detalles de los requisitos no funcionales, métricas e indicadores empleados para evaluar la mantenibilidad de un código fuente en Java considerando la adherencia a una guía de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



estilo de programación y el uso de comentarios.

**(A1) Definir los Requisitos no Funcionales:** Esta actividad consiste en definir un árbol jerárquico de requisitos no funcionales, estructurado en características y atributos, que guiará la evaluación de la calidad.

Para el caso práctico propuesto a los estudiantes en 2025, el enfoque se centró en la Mantenibilidad del código fuente, con énfasis particular en la adherencia a estándares de codificación y la inclusión de comentarios (tanto de documentación como de implementación). Dada esta focalización, se optó por emplear el modelo de calidad interna y externa del estándar ISO/IEC 9126 [12], el cual incluye la característica "Mantenibilidad", y a su vez, esta incluye explícitamente las subcaracterísticas "Analizabilidad" (*Analizability*) –la cual abarca la cuestión de incluir comentarios de documentación y de implementación ya que estos facilitan la rápida comprensión del código por parte de los desarrolladores – y "Adherencia" (*Compliance*) –la cual justamente permite abordar la adherencia del código fuente a una guía de estilo de codificación.

Es importante señalar que, aunque la norma ISO/IEC 9126 ha sido reemplazada por la ISO/IEC 25010, esta última no incluye explícitamente la subcaracterística "Adherencia" en su modelo de calidad. Por lo tanto, se eligió la ISO/IEC 9126 con el propósito didáctico de que los estudiantes identificaran a la subcaracterística "Adherencia" de manera explícita en el modelo de calidad.

En lo que respecta a los atributos relacionados a "Analizabilidad", se identificaron los siguientes cuatro: "*Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre las Clases*" (codificado 1.1.1.1.1 en la Tabla 3), "*Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre los Métodos*" (1.1.1.1.2), "*Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre los Campos*" (1.1.1.1.3), y "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2). Los tres primeros, al estar asociados a comentarios de documentación, se combinaron a la subcaracterística "Disponibilidad de Comentarios de Documentación en el Código Fuente" (1.1.1.1).

En cuanto a los atributos vinculados a "Adherencia" también se identificaron cuatro, a saber: "*Adherencia al Nombramiento de Clases*" (1.2.1), "*Adherencia al Nombramiento de Métodos*" (1.2.2), "*Adherencia al Nombramiento de Constantes*" (1.2.3.1) y "*Adherencia al Nombramiento de Variables*" (1.2.3.2). Cabe destacar que, como se muestra en la Tabla 3, los dos últimos atributos se

**Tabla 3.** Características y Atributos en la forma de Árbol de Requisitos no Funcionales y sus correspondientes definiciones.

| **Características y Atributos (*en itálica*)** | **Definición:** El grado en que… |
|---|---|
| 1. **Mantenibilidad** | … un producto o sistema puede ser diagnosticado y/o modificado por el personal de mantenimiento con eficacia y eficiencia. |
| 1.1. **Analizabilidad** | … se pueden diagnosticar la comprensibilidad, las deficiencias o las causas de falla de un producto, o se pueden identificar partes de un producto para su modificación considerando el impacto de sus cambios en todo el producto o sistema. |
| 1.1.1. **Comprensibilidad del Código** | … un código fuente y su documentación tienen propiedades inherentes que facilitan la comprensión humana y disminuyen la carga cognitiva. |
| 1.1.1.1. **Disponibilidad de Comentarios de Documentación en el Código Fuente** | … un código fuente tiene comentarios de documentación que maximicen la facilidad de comprender el código.<br>Nota: Los comentarios de documentación describen en lenguaje natural la intencionalidad o semántica de una clase, atributo (campo), o método. |
| *1.1.1.1.1. Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre las Clases* | … un código fuente tiene comentarios de documentación sobre las clases. |
| *1.1.1.1.2. Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre los Métodos* | … un código fuente tiene comentarios de documentación sobre los métodos. |
| *1.1.1.1.3. Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre los Campos* | … un código fuente tiene comentarios de documentación sobre los campos. |
| *1.1.1.2 Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos* | … los métodos en un código fuente tienen comentarios de implementación. |
| 1.2. **Adherencia** | … el producto de software (por ejemplo, un código fuente) adhiere a estándares o convenciones relacionados con la mantenibilidad. |
| *1.2.1. Adherencia al Nombramiento de Clases* | … el código fuente adhiere a la convención de nomenclatura de clases que se especifica en la guía de estilo de codificación. |
| *1.2.2. Adherencia al Nombramiento de Métodos* | … el código fuente adhiere a la convención de nomenclatura de métodos que se especifica en la guía de estilo de codificación. |
| 1.2.3. **Adherencia al Nombramiento de Campos** | … el código fuente adhiere a los estándares o convenciones relacionados con la nomenclatura de campos. |
| *1.2.3.1. Adherencia al Nombramiento de Constantes* | … el código fuente adhiere a la convención de nomenclatura de constantes que se especifica en la guía de estilo de codificación. |
| *1.2.3.2. Adherencia al Nombramiento de Variables* | … el código fuente adhiere a la convención de nomenclatura de variables que se especifica en la guía de estilo de codificación. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 4.** Especificación de la métrica indirecta para cuantificar el atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2).

| |
|---|
| **Nombre de la Métrica Indirecta:** Densidad de Comentarios de Implementación en Métodos (DCIM)<br>**Nombre del Atributo cuantificado:** Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos (1.1.1.2) |
| **Objetivo:** Determinar la proporción de métodos con complejidad cognitiva alta que tienen algún comentario de implementación considerando todas las clases y archivos Java.<br>**Autor:** **Versión:** 1.0 |
| **Procedimiento de Cálculo: Especificación / Fórmula**<br>$DCIM = \frac{\sum_{i=1}^{\#AJ}\sum_{j=1}^{\#C_i} \#MACoCoCom_{ij}}{\sum_{i=1}^{\#AJ}\sum_{j=1}^{\#C_i} \#MACoCo_{ij}}$<br>Si $\sum_{i=1}^{\#AJ}\sum_{j=1}^{\#C_i} \#MACoCo_{ij} = 0$ entonces $DCIM = 1$ |
| **Escala**: Numérica **Tipo de Escala:** Proporción<br>**Tipo de Valor:** Real **Representación:** Continua |
| **Unidad**<br>**Nombre:** Métodos con complejidad cognitiva alta comentados sobre métodos con complejidad cognitiva alta<br>**Acrónimo:** MCoCoA/MCoCoA |
| **Métricas relacionadas:**<br>Número de Archivos Java (#AJ), Número de Clases en el archivo (#C), Número de Métodos en la clase con Alta Complejidad Cognitiva Comentados (#MACoCoCom) y Número de Métodos en la clase con Alta Complejidad Cognitiva (#MACoCo) |

combinaron a la subcaracterística "Adherencia al Nombramiento de Campos" (1.2.3).

Es importante indicar que los atributos antes mencionados que se relacionan a la característica "Adherencia" provienen de diferentes ítems de la guía de estilo de Google para Java. Específicamente surgen de los ítems *5.2.2 Class names*, *5.2.3 Method names*, *5.2.4 Constant names* y *5.2.7 Local variable names*. En [17] se dan ejemplos de otros ítems de la guía que pueden considerarse para dar origen a más atributos.

En la Tabla 3 se muestra el árbol de requisitos no funcionales diseñado y se incluyen las definiciones de todas las características, subcaracterísticas y atributos. Se reconoce que podrían haberse incluido otras características y atributos relacionados con la "Mantenibilidad", como los propuestos en [3] y [17]. No obstante, consideramos que el árbol de requisitos no funcionales resultante es suficiente para el objetivo pedagógico planteado en la asignatura.

**(A2) Diseñar la Medición y la Evaluación:** En esta actividad se definieron las métricas indirectas y directas para cuantificar cada uno de los atributos del árbol de requisitos no funcionales.

Por ejemplo, para cuantificar el atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (codificado 1.1.1.2 en la Tabla 3) se definió la métrica "*Densidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (DCIM). La especificación de esta métrica indirecta se muestra en la Tabla 4. Además, para cada métrica indirecta, se especificaron una o más métricas directas. Por ejemplo, para la métrica indirecta mencionada se definieron cuatro métricas directas, a saber: "*Número de archivos Java*" (#AJ), "*Número de Clases en el archivo*"

**Tabla 5.** Especificación de una de las métricas directas relacionadas a la métrica "*Densidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (DCIM).

| |
|---|
| **Nombre de la Métrica Directa:** Número de Métodos en la clase con Alta Complejidad Cognitiva Comentados (#MACoCoCom)<br>**Nombre del Atributo cuantificado:** Disponibilidad de métodos con comprensibilidad compleja documentados |
| **Objetivo:** Determinar la cantidad de métodos con complejidad cognitiva alta que se encuentran en una clase de un archivo Java e incluyen algún comentario de implementación.<br>**Autor:** **Versión:** 1.0 |
| **Procedimiento de Medición** **Tipo:** Objetivo<br>**Especificación:**<br>lista1 = {if, else if, else, operador ternario, switch, for, foreach, while, do while, catch, Secuencias de operadores lógicos binarios, Cada método en un ciclo de recursión}<br>lista2 = {if, operador ternario, switch, for, foreach, while, do while, catch}<br>lista3 = {if, else if, else, operador ternario, switch, for, foreach, while, do while, catch, Métodos anidados y estructuras tipo lambdas}<br><br>#MACoCoCom = 0<br>Por cada declaración de método en la clase<br>CoCo = 0<br>NL = 0<br>Por cada línea de código en el método<br>Por cada sentencia/keyword que se incluye en lista1<br>CoCo = CoCo + 1<br>Si existe una sentencia que se incluye en lista2 entonces:<br>CoCo = CoCo + NL<br>Si existe una sentencia que se incluye en lista3 entonces:<br>NL = NL + 1<br>Si una línea de código incluye el cierre del bloque de código iniciado por un elemento de lista3 entonces:<br>NL = NL – 1<br><br>Si CoCo >= 12 entonces:<br>Si en el método hay algún comentario de implementación entonces:<br>#MACoCoCom = #MACoCoCom + 1<br><br>Nota 1: En esta métrica los constructores (su declaración) son considerados métodos.<br>Nota 2: La declaración de un método define su firma, nombre, parámetros y tipo de retorno.<br>Nota 3: Un comentario de implementación documenta o aclara la lógica subyacente de un bloque de código para que sea más fácil de entender. |
| **Escala**: Numérica **Tipo de Escala:** Absoluta<br>**Tipo de Valor:** Entero **Representación:** Discreta |
| **Unidad**<br>**Nombre:** Método con complejidad cognitiva alta comentado<br>**Acrónimo:** MCoCoA |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(#C), "*Número de Métodos en la clase con Alta Complejidad Cognitiva Comentados*" (#MACoCoCom) y "*Número de Métodos en la clase con Alta Complejidad Cognitiva*" (#MACoCo).

La Tabla 5 presenta la especificación de la métrica directa #MACoCoCom, la cual cuantifica la cantidad de métodos que tienen una alta complejidad cognitiva y que, además, incluyen algún comentario de implementación. Una alta complejidad cognitiva indica que los programadores que lean el código deberán realizar un esfuerzo mental significativo para comprender su flujo y su lógica.

Esta métrica se basa en las siguientes reglas para analizar la complejidad cognitiva: 1) el código se considera más complejo cuando utiliza abreviaturas que el lenguaje proporciona para combinar múltiples declaraciones en una sola; 2) el código se considera más complejo por cada interrupción en el flujo lineal del código; y 3) el código se considera más complejo cuando se anidan estructuras que rompen el flujo de este. El procedimiento mostrado en la Tabla 5 para obtener el puntaje de complejidad cognitiva (CoCo) está basado en la especificación incluida en el Apéndice B de [4].

Es importante mencionar que, si bien se considera que la complejidad cognitiva es alta a partir de un valor umbral de 15 [4, 5], en este trabajo se ha optado por establecer el umbral inferior en 12. La razón principal es que, mientras un valor de 15 o superior exigiría la reestructuración del código para reducir su complejidad, un valor a partir de 12, indica que el código, aunque es bastante complejo, puede ser aceptable en su forma actual, siempre que la carga cognitiva se mitigue mediante la inclusión de comentarios de implementación.

Con el objetivo de que el procedimiento de medición sea lo más claro posible para que este sea repetible y reproducible, en la especificación mostrada en la Tabla 5 se incluyen algunas notas. Una de ellas indica que los constructores se consideran métodos y que por lo tanto también debe evaluarse su complejidad (Nota 1). Otra de las notas (Nota 3) aclara qué es un comentario de implementación. Es importante destacar que esta métrica solo considera la presencia o no de comentarios de implementación, pero no tiene en cuenta si el comentario de implementación es realmente útil para facilitar el entendimiento del código. Para esto se podría incluir otro atributo que haga referencia a este aspecto o modificar la métrica para considerar esto, lo cual escapa al alcance del presente trabajo.

Todas las métricas definidas para este trabajo se pueden encontrar en el Apéndice II del documento disponible en https://bit.ly/CoNaIISI25_Apendice.

Una vez que se especificaron todas las métricas, se continuó con la definición de los indicadores elementales. Debido a que los valores proporcionados por las métricas no representan directamente el nivel de satisfacción de un requisito no funcional elemental (es decir, de un atributo), es indispensable realizar una transformación que permita interpretar dichos valores. Por consiguiente, se asoció un indicador elemental a cada atributo.

**Tabla 6**. Especificación del indicador elemental para el atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2). Nota: DCIM representa la métrica "*Densidad de Comentarios de Implementación en Métodos*".

| |
|---|
| **Nombre de Indicador Elemental:** *Nivel de Desempeño en la Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos* (ND_DCIM) |
| **Autor:** Pablo Becker y Luis Olsina **Versión:** 1.0 |
| **Función Elemental / Procedimiento de Cálculo**<br>**Especificación:** ND_DCIM = DCIM * 100<br>**Criterios de Decisión (Niveles de Aceptabilidad):**<br>**Nombre:** ■Insatisfactorio<br>**Rango:** [0;60]<br>**Descripción:** Indica que se deben realizar acciones correctivas con alta prioridad.<br>**Nombre:** ◆Marginal<br>**Rango:** (60;100)<br>**Descripción:** Indica que se deben realizar acciones correctivas.<br>**Nombre:** ●Satisfactorio<br>**Rango:** [100;100]<br>**Descripción:** Indica que no son necesarias acciones correctivas, ya que se cumple con el nivel de satisfacción de calidad requerido. |
| **Escala**: Numérica **Tipo de Escala:** Proporción<br>**Tipo de Valor:** Real **Representación:** Continua |
| **Unidad**<br>**Nombre:** Porcentaje **Acrónimo:** % |

A modo de ejemplo, para el atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2) se definió el indicador elemental "*Nivel de Desempeño en la Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (ND_DCIM), cuya especificación se documenta en la Tabla 6.

En la especificación se detalla que el indicador emplea una función elemental para transformar el valor medido (obtenido mediante la métrica "*Densidad de Comentarios de Implementación en Métodos*", DCIM) en un valor de indicador. Específicamente, el valor producido por la métrica, que en este caso siempre está entre 0 y 1, se escala a un porcentaje multiplicándolo por 100. Por lo tanto, a mayor valor medido, mayor es el nivel de satisfacción alcanzado. Si bien este procedimiento de cálculo es sencillo, puede ser adaptado o reemplazado por uno más complejo en función de los requisitos del proyecto.

Además, para este indicador elemental, al igual que para el resto de los indicadores, se definieron tres niveles de aceptabilidad o criterios de decisión, a saber: Insatisfactorio (valores inferiores o iguales a 60%), Marginal (valores mayores a 60% y menores a 100%) y Satisfactorio (valores iguales a 100%). Se decidió que el nivel Satisfactorio solo se alcanza con valores iguales a 100% debido a que como algunos atributos están relacionados con la adherencia a ítems de la guía de estilo se busca que la adherencia sea total. Además, en lo que tiene que ver con los atributos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



relacionados a la presencia de comentarios, considerando que estos son de gran importancia para facilitar el mantenimiento, también se vio oportuno que el nivel Satisfactorio solo se alcance con valores iguales a 100%. Y con el objetivo de facilitar la visualización de los niveles de satisfacción alcanzados se decidió usar los colores de un semáforo: ■rojo / Insatisfactorio, ◆amarillo / Marginal, y ●verde / Satisfactorio.

El resto de las especificaciones de los indicadores elementales se pueden observar en el Apéndice III en https://bit.ly/CoNaIISI25_Apendice.

Finalmente, se especificaron todos los indicadores derivados. Un indicador derivado permite interpretar un requisito no funcional con un nivel de abstracción más alto, como son las características y subcaracterísticas. En el presente estudio, se utilizó como función de agregación un "modelo de puntaje aditivo lineal" para todos los indicadores derivados. En particular, la especificación de la función de agregación es:

$$ID = w_1 * I_1 + w_2 * I_2 + ... + w_m * I_m \quad (1)$$

donde ID representa el indicador derivado a calcular e $I_i$ son los valores de los indicadores del nivel inmediatamente inferior, los cuales en este caso tienen valores entre 0 y 100; $w_i$ representa los pesos que indican la importancia relativa de los elementos dentro de un agrupamiento, bloque o nivel y cumplen con la condición $w_1 + w_2 + ... + w_m = 1$, y $w_i > 0$ para i = 1 ... m. En este trabajo, se consideró que todos los elementos de cada bloque tenían la misma importancia, por lo que se les asignó un peso idéntico.

Por último, se definieron los niveles de aceptabilidad para los indicadores derivados utilizando los mismos tres niveles definidos para los indicadores elementales. A modo de ejemplo, la especificación del indicador derivado "*Nivel de Desempeño en la Comprensibilidad del Código*" para la subcaracterística "*Comprensibilidad del Código*" (1.1.1) se muestra en la Tabla 7.

**(A3) Implementar la Medición y la Evaluación:** En esta actividad se utilizaron las métricas e indicadores definidos en A2 para producir valores de métricas e indicadores para conocer el nivel de satisfacción alcanzado por los requisitos no funcionales establecidos.

Por ejemplo, usando la métrica "*Densidad de Comentarios de Implementación en Métodos*", se obtuvo el valor 0 para el atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2). Esta medida derivada se produjo aplicando el procedimiento de cálculo especificado en la Tabla 4. Los valores obtenidos con las métricas directas relacionadas se ilustran en la Figura 2. Todas las medidas base (utilizadas para calcular esta y otras medidas derivadas) se pueden ver en el Apéndice IV en https://bit.ly/CoNaIISI25_Apendice.

Una vez que se obtuvieron los valores de todas las métricas indirectas, se utilizaron las medidas derivadas para calcular todos los valores de los indicadores elementales. A modo de ejemplo, para el atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2) se utilizó el indicador elemental "*Nivel de Desempeño en la Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*". Siguiendo el procedimiento de cálculo indicado en Tabla 6, se obtuvo el valor 0%.

**Tabla 7.** Especificación del indicador derivado para la subcaracterística "*Comprensibilidad del Código*" (1.1.1).

| |
|---|
| **Nombre del Indicador Derivado:** Nivel de Desempeño en la Comprensibilidad del Código (ND_CC)<br>**Nombre de la Característica interpretada:** Comprensibilidad del Código (1.1.1) |
| **Autor:** **Versión:** 1.0 |
| **Función de Agregación / Procedimiento de Cálculo**<br>**Especificación:**<br>$ND\_CC = 0{,}5 * ND\_DCDCF + 0{,}5 * ND\_DCIM$<br>ND_DCDCF: Nivel de Desempeño en la Disponibilidad de Comentarios de Documentación en el Código Fuente<br>ND_DCIM: Nivel de Desempeño en la Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos<br>**Criterios de Decisión** [Niveles de Aceptabilidad]<br>**Nombre:** ■Insatisfactorio<br>**Rango:** [0;60]<br>**Descripción:** Indica que se deben realizar acciones correctivas con alta prioridad.<br>**Nombre:** ◆Marginal<br>**Rango:** (60;100)<br>**Descripción:** Indica que se deben realizar acciones correctivas.<br>**Nombre:** ●Satisfactorio<br>**Rango:** [100;100]<br>**Descripción:** Indica que no son necesarias acciones correctivas, ya que se cumple con el nivel de satisfacción de calidad requerido. |
| **Escala**: Numérica **Tipo de Escala:** Proporción<br>**Tipo de Valor:** Real **Representación:** Continua |
| **Unidad**<br>**Nombre:** Porcentaje **Acrónimo:** % |

A su vez, estos se utilizaron para calcular los indicadores derivados utilizando la función de agregación –ver fórmula (1). Los valores de los indicadores, tanto elementales como derivados, para versión 1.0 del código fuente se muestran en la tercera columna de la Tabla 8.

**(A4.1) Diseñar el Análisis:** En esta actividad, se decidió incluir en el documento "Especificación del Análisis" que los atributos serían clasificados utilizando los criterios de decisión definidos para los indicadores. Por lo tanto, los atributos que caigan en el rango Insatisfactorio (■) deben recibir atención con la máxima prioridad, seguidos por aquellos que caigan en el rango Marginal (◆).

**(A4.2) Analizar los Resultados:** A partir de los criterios establecidos en la "Especificación de Análisis", se debieron analizar la mayoría de los aspectos considerados en la evaluación ya que gran parte de los valores están marcados con ■ en la tercera columna de la Tabla 8. Este análisis permitió luego realizar recomendaciones para mejorar la mantenibilidad del código inicial (v1.0).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



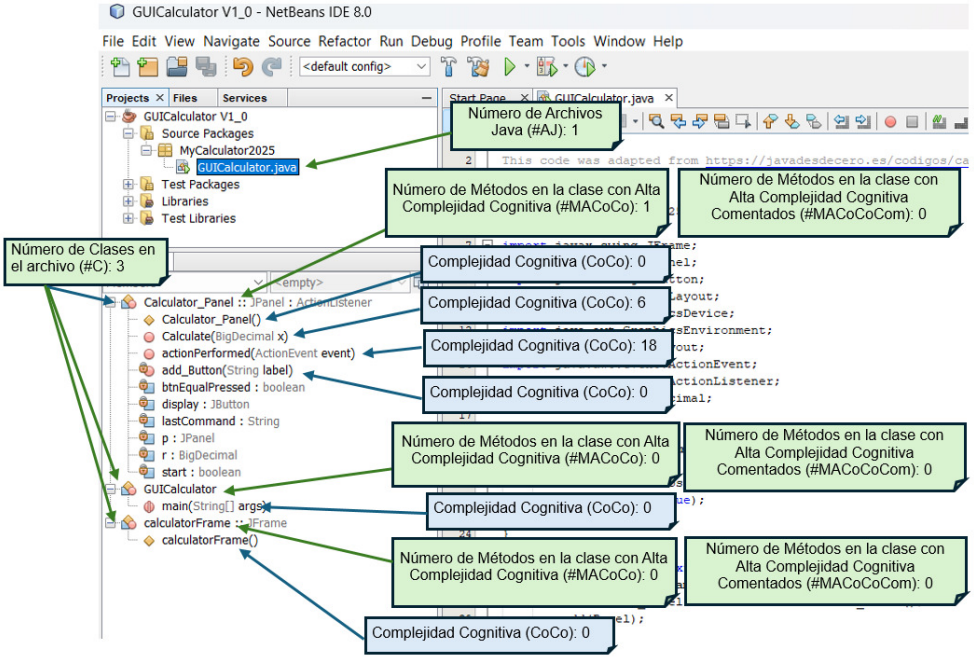



**Figura 2.** Archivos, clases y métodos del código GUICalculator v1.0 y los valores para calcular el atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2) usando la métrica "*Densidad de Comentarios de Implementación en Métodos*" (DCIM).

Por ejemplo, en cuanto a los atributos asociados a "*Comprensibilidad del Código*" (1.1.1), cuyos valores fueron 0% en todos los casos, se dieron las siguientes recomendaciones:

- *Agregar a cada una de las clases un comentario que documente su objetivo.*
- *Agregar a cada uno de los métodos un comentario que documente su objetivo.*
- *Agregar a cada uno de los campos no estáticos un comentario que documente su objetivo.*
- *En el método actionPerformed de la clase Calculator_Panel agregar un comentario que documente su lógica para facilitar su comprensión.*

En lo que respecta a los atributos relacionados a "Adherencia" (1.2), dos de los cuatro atributos obtuvieron un bajo desempeño. Específicamente los atributos con un nivel Insatisfactorio fueron: "*Adherencia al Nombramiento de Clases*" (1.2.1) y "*Adherencia al Nombramiento de Métodos*" (1.2.2). A continuación, se listan las recomendaciones dadas:

- *Modificar el nombre de las tres clases para que adhieran al ítem 5.2.2 Class names de la guía de estilo de Google para Java (ver ejemplos de nombres que adhieren en 5.3 Camel case: defined).*
- *Modificar el nombre de los métodos Calculate y add_Button de la clase Calculator_Panel para que adhieran al ítem 5.2.3 Method names de la guía de estilo de Google para Java (ver ejemplos de nombres que adhieren en 5.3 Camel case: defined).*

Cabe mencionar que las no conformidades a la guía de estilo, entre otras deficiencias presentes en el código fuente, fueron introducidas intencionalmente por los docentes con el objetivo de que el mismo incluya varios atributos con bajo nivel de desempeño y, por lo tanto, deba ser modificado por los estudiantes.

**(A5) Diseñar los Cambios:** A partir del "Informe de Recomendación" generado en A4.2, se diseñaron los diferentes cambios a realizar.

Por ejemplo, con relación al atributo "*Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre las Clases*" (1.1.1.1.1) y teniendo en cuenta la recomendación correspondiente se agregaron comentarios de documentación a las tres clases. Por ejemplo, para la clase "GUICalculator" se agregó el siguiente comentario "*Clase principal que es utilizada para iniciar la interfaz gráfica de la calculadora*".

En lo que respecta al atributo "*Disponibilidad de*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 8.** Árbol de requisitos no funcionales junto con los pesos (w) considerados para la evaluación, así como los valores de indicadores elementales/derivados (IE/ID) obtenidos para las versiones 1.0 y 1.1 del código fuente evaluado. Nota: El símbolo ● significa "Satisfactorio", ◆ "Marginal", y ■ "Insatisfactorio".

| **Características y Atributos (e*n itálica*)** | **peso (w)** | **Valor de IE/ID para v1.0 [%]** | **Valor de IE/ID para v1.1 [%]** |
|---|---|---|---|
| 1. **Mantenibilidad** | | **24,75** ■ | **100** ● |
| 1.1. **Analizabilidad** | 0,5 | **0** ■ | **100** ● |
| 1.1.1. **Comprensibilidad del Código** | 1 | **0** ■ | **100** ● |
| 1.1.1.1. **Disponibilidad de Comentarios de Documentación en el Código Fuente** | 0,5 | **0** ■ | **100** ● |
| *1.1.1.1.1. Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre las Clases* | 0,34 | 0 ■ | 100 ● |
| *1.1.1.1.2. Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre los Métodos* | 0,33 | 0 ■ | 100 ● |
| *1.1.1.1.3. Disponibilidad de Comentarios de Documentación sobre los Campos* | 0,33 | 0 ■ | 100 ● |
| *1.1.1.2 Disponibilidad de Comentarios de Implementación en Métodos* | 0,5 | 0 ■ | 100 ● |
| 1.2. **Adherencia** | 0,5 | **49,50** ■ | **100** ● |
| *1.2.1. Adherencia al Nombramiento de Clases* | 0,34 | 0 ■ | 100 ● |
| *1.2.2. Adherencia al Nombramiento de Métodos* | 0,33 | 50 ■ | 100 ● |
| 1.2.3. **Adherencia al Nombramiento de Campos** | 0,33 | **100** ● | **100** ● |
| *1.2.3.1. Adherencia al Nombramiento de Constantes* | 0,5 | 100 ● | 100 ● |
| *1.2.3.2. Adherencia al Nombramiento de Variables* | 0,5 | 100 ● | 100 ● |

*Comentarios de Implementación en Métodos*" (1.1.1.2) se agregó un comentario de implementación en el método actionPerformed. El comentario incorporado es "*Este bloque controla las acciones de los botones de la calculadora. Los botones de números y el punto decimal añaden el dígito o el punto al visor para formar el operando. Los botones de los operadores, por su parte, activan la ejecución del cálculo pendiente y muestran el resultado final. El contenido del visor se borra automáticamente al iniciar una nueva secuencia de cálculo. Se implementa un bloque try-catch para prevenir y manejar los fallos que puedan ocurrir debido a divisiones por cero*".

Además, para mejorar el nivel de satisfacción alcanzado por el atributo "*Adherencia al Nombramiento de Clases*" (1.2.1), se propuso que las clases nombradas "GUICalculator", "calculatorFrame" y "Calculator_Panel" sean renombradas como "GuiCalculator", "CalculatorFrame" y "CalculatorPanel", respectivamente, y así adherir al uso de la convención *Upper Camel Case* para nombrar las clases, tal como se indica en el ítem 5.2.2 de la guía de Google para Java.

Finalmente, para mejorar el nivel de satisfacción del atributo "*Adherencia al Nombramiento de Métodos*" (1.2.1), se propuso que los métodos "add_Button" y "Calculate" sean renombrados como "addButton" y "calculate", respectivamente. Todos los cambios propuestos se registraron en el documento "Plan de Mejora".

**(A6) Implementar los Cambios:** En esta actividad, se llevaron a cabo los cambios propuestos. Por razones de espacio no se muestran aquí las pantallas de los cambios, como por ejemplo dónde se incorporó el comentario de implementación, pero la nueva versión del código fuente (v1.1) con todos los cambios realizados está disponible en el Apéndice V en https://bit.ly/CoNaIISI25_Apendice.

Como se muestra en el proceso de GOCAMEC de la Figura 1, una vez finalizada la actividad A6, es necesario realizar una reevaluación para determinar el nivel de satisfacción alcanzado por la nueva versión del código fuente después de los cambios. Por lo tanto, las actividades A3 y A4.2 se llevaron a cabo nuevamente.

**(A3) Implementar la Medición y la Evaluación**: Para este segundo ciclo de medición y evaluación, se utilizaron las mismas métricas e indicadores que se usaron con la versión 1.0 del código fuente de Java. Los resultados de la reevaluación considerando la versión 1.1 se muestran en la última columna de la Tabla 8.

**(A4.2) Analizar los Resultados**: Como se puede ver en la Tabla 8, en la versión 1.1 todos los atributos alcanzaron 100% (●). Como consecuencia, la nueva versión del código fuente satisface todos los requisitos no funcionales considerados para este trabajo. Dado que no se requieren nuevos ciclos de cambio, reevaluación y análisis debido a que se logró el objetivo con éxito, el proceso finaliza.

## 5. Trabajos Relacionados

Diferentes estudios, como por ejemplo [6], [19] y [22], destacan la importancia de la documentación para facilitar el mantenimiento del software. Sin embargo, estos trabajos se enfocan principalmente en un análisis de los problemas y desafíos encontrados y evidenciados en la literatura científica, sin abordar la problemática desde un caso de estudio concreto. En contraste, el presente trabajo presenta un caso académico específico centrado en la mantenibilidad del código. Este enfoque práctico permite ilustrar la importancia de contar con una estrategia de medición y evaluación como es GOCAMEC para comprender la calidad del código, y tomar decisiones que conduzcan a una mejora desde el punto de vista de la mantenibilidad.

Respecto a documentar el código fuente haciendo uso de comentarios, la literatura no siempre distingue entre comentarios de documentación y comentarios de implementación. Por ejemplo, en [24] sí se considera esta distinción y se indica que los comentarios de documentación son obligatorios mientras que la decisión de incluir comentarios de implementación se deja a criterio del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



desarrollador, basándose en una percepción subjetiva de la complejidad del código. Esta subjetividad representa un desafío, ya que lo que un desarrollador considera complejo, puede no serlo para otro. Para resolver esta ambigüedad, en el presente trabajo se propone un enfoque objetivo a partir del análisis de la complejidad cognitiva del código.

Si bien la métrica de complejidad cognitiva no es nueva [4, 5] y se utiliza ampliamente en la industria a través de herramientas como SonarQube[1], su aplicación se ha centrado principalmente en identificar bloques de código que requieren ser reestructurados. Sin embargo, en el presente trabajo, se extiende esta aplicación proponiendo que un valor de complejidad cognitiva por debajo del umbral que exige una reestructuración indica la necesidad de mitigar la carga cognitiva mediante la adición de comentarios de implementación. De esta forma, se proporciona un criterio objetivo para decidir cuándo comentar un fragmento de código, lo que representa una contribución que no ha sido abordada en otros trabajos.

En relación con trabajos relacionados a métricas para mantenibilidad, es importante señalar que su estudio no es reciente, ya que los primeros trabajos en la disciplina de la Ingeniería de Software datan de 1968 [20]. No obstante, según [23], los modelos tradicionales y normas como ISO/IEC 25023 aun presentan limitaciones significativas. Por ejemplo, los autores indican que muchas de las métricas propuestas solo pueden medirse una vez que el sistema está en uso, lo cual es poco útil para prevenir problemas en las etapas tempranas del desarrollo. Además, estas métricas a menudo se centran en aspectos externos al código, como los registros de operaciones, y descuidan atributos intrínsecos del mismo, como la legibilidad o la complejidad interna, que son cruciales para la mantenibilidad. Debido a estas deficiencias, en [23] se propone el uso de un conjunto de métricas que pueden ser obtenidas directamente del código fuente. A diferencia de otros trabajos que solo consideran la complejidad ciclomática, en [23] se incorporan otras métricas de análisis estático, tales como las relacionadas con la programación orientada a objetos, el código duplicado y los ciclos de dependencia. Sin embargo, y a diferencia del presente trabajo, no plantean ninguna métrica que haga uso de la complejidad cognitiva, ni de comentarios de implementación.

En los últimos años se publicaron trabajos que tienen cierta relación con el presente artículo. Uno de estos trabajos es [2], donde también se utiliza la estrategia GOCAMEC para ilustrar la evaluación y la mejora de la "*Mantenibilidad*" de un código Java considerando su "*Adherencia*" a una guía de estilo de programación. En ese trabajo se pone énfasis en la actividad Definir los Requisitos No Funcionales (A1 en la Figura 1) y en la ontología ODS_RNFs, la cual le da sustento conceptual. Otro trabajo reciente es [3], donde se utiliza GOCAMEC para evaluar y mejorar la "*Mantenibilidad*" de un código fuente, pero considerando aspectos de "*Analizabilidad*" y "*Testeabilidad*". En ese estudio, se pone el énfasis en la actividad Diseñar la Medición y describe con detalle la ontología ODI_Métricas. Luego, en [21] se ejemplifica un enfoque sistemático que permite mapear guías de estilo de programación a atributos y a sus métricas que los cuantifican, y se presenta la herramienta JavaStyleInspector que se ha desarrollado para analizar un código Java y generar reportes sobre los incumplimientos a la guía de estilo de Google para Java. La herramienta desarrollada cubre 37 ítems de la mencionada guía a través de 42 atributos y automatiza la medición de 22 de estos atributos. Finalmente, en [17] se pone el énfasis –como fundamento teórico– en la ontología para el dominio de indicadores y evaluación denominada ODI_Indicadores, la cual recientemente ha sido revisada y armonizada con conceptos de otras ontologías en el contexto de la arquitectura ontológica de cinco niveles, denominada FCD-OntoArch.

A pesar de algunos puntos en común, estos últimos trabajos no se abordaron desde la perspectiva de la importancia de la documentación en el ciclo de vida de un producto/sistema de software como se hace en el presente artículo. Tampoco presentan atributos, métricas e indicadores relacionados a comentarios de implementación, ni se ha establecido una discusión como la propuesta a continuación, lo que resalta la originalidad de este trabajo.

## 6. Discusión sobre Documentación y Agilidad

Las metodologías ágiles han transformado la forma en que se desarrollan y entregan productos de software, priorizando la interacción constante con el cliente, la entrega continua de valor y la adaptabilidad al cambio. En este enfoque, la documentación tradicional ha sido deliberadamente minimizada en favor de una comunicación más informal, directa y dinámica entre los miembros del equipo y con el cliente. El Manifiesto Ágil lo expresa explícitamente al valorar "software funcionando por sobre documentación extensiva" [1]. Esta filosofía ha demostrado ser efectiva en entornos colaborativos, con equipos estables y bien comunicados, donde los ciclos de desarrollo son breves y se privilegia la inmediatez en la toma de decisiones.

No obstante, esta reducción en la documentación presenta desafíos significativos en las fases posteriores del ciclo de vida del producto software, en particular durante el mantenimiento. Como se expuso en la sección de introducción, el proceso de mantenimiento puede representar hasta el 90% del costo total del software, y entre el 40 y el 60% del esfuerzo invertido se orienta exclusivamente a comprender el producto/sistema. La ausencia de documentación clara y actualizada puede dificultar esta tarea, especialmente cuando los ingenieros encargados del mantenimiento no participaron del desarrollo original, lo que es común en equipos grandes, distribuidos o con alta rotación. Por lo tanto, la documentación es crucial para que los desarrolladores

[1] https://www.sonarsource.com/products/sonarqube/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



actuales puedan transmitir información clave del sistema a los futuros integrantes en equipos de mantenimiento [6].

En estos escenarios, el código fuente se convierte en el documento más consultado, pero no siempre suficiente. Cuando no hay documentación que explique decisiones de diseño, supuestos funcionales o justificaciones técnicas, el proceso de comprensión puede volverse lento, propenso a errores y costoso. Es más, la falta de un documento de visión que capture el objetivo original del software (el problema/situación que resuelve o la necesidad que satisface) puede llevar a que el equipo de mantenimiento pierda de vista la esencia de la concepción del producto. Esta pérdida de contexto estratégico puede resultar en la toma de decisiones que desvían el rumbo del software, comprometiendo su valor a largo plazo. Así, la falta inicial de documentación puede traducirse en una pérdida significativa de agilidad futura, contraria al espíritu de mejora continua que promueven las metodologías ágiles.

Para mitigar estas consecuencias sin comprometer los principios ágiles, es recomendable adoptar un enfoque equilibrado, implementando buenas prácticas de documentación liviana y contextual. Algunos ejemplos de buenas prácticas son:

- Establecer estándares mínimos de documentación, incluyendo una descripción de alto nivel de la arquitectura, decisiones de diseño relevantes y flujos críticos del sistema.
- Incluir comentarios de implementación en aquellos métodos o funciones con alta complejidad cognitiva, identificados a través de métricas como la profundidad de anidamiento, cantidad de caminos lógicos o uso de estructuras no triviales.
- Utilizar herramientas automatizadas para generar documentación a partir del código, como Javadoc, Doxygen[2] o Sphinx[3] –entre otras que están surgiendo recientemente soportadas por inteligencia artificial generativa–, lo que permite mantener una documentación técnica sincronizada con el código.
- Adoptar la práctica de documentación continua, en la que se incorpora documentación relevante como parte del flujo de trabajo del equipo (por ejemplo, en las historias de usuario, *pull requests* o decisiones de diseño).
- Documentar el conocimiento tácito mediante registros breves pero claros sobre supuestos, restricciones o decisiones técnicas, aunque sea de forma informal (por ejemplo, en un archivo README o en wikis del proyecto).

En el marco de la actividad académica que dio origen a este trabajo, se propuso a los estudiantes evaluar fragmentos de código con el fin de reflexionar sobre su mantenibilidad. Este enfoque, que también incluye el análisis de la necesidad y adecuación de los comentarios de implementación según la complejidad cognitiva, es una herramienta valiosa para formar profesionales capaces de documentar con criterio y propósito, evitando tanto el exceso como la omisión.

En definitiva, la clave no radica en replicar modelos tradicionales de documentación extensiva, sino en encontrar formas sostenibles y relevantes de preservar el conocimiento crítico del sistema, con foco en facilitar su comprensión, mantenimiento y evolución. Así, una documentación ágil, contextual y actualizada de manera continua contribuye no solo a la calidad del software –desde el punto de vista de la mantenibilidad y de costos–, sino también a su longevidad.

## 7. Consideraciones Finales y Trabajo Futuro

En el presente trabajo se abordó la vital importancia de la documentación para asegurar la calidad en el mantenimiento de un producto/sistema software, un aspecto crítico del ciclo de vida que a menudo se subestima en la práctica. Si bien son muchos los documentos que son útiles en la fase de mantenimiento, este trabajo se enfocó en el código fuente. A través de un caso académico, se mostró que la mantenibilidad del código fuente puede ser medida, evaluada y mejorada de manera sistemática. Para ello, se aplicó la estrategia GOCAMEC y se propuso un conjunto de requisitos no funcionales, métricas e indicadores diseñados específicamente para el contexto de la asignatura Ingeniería de Software II.

Una de las contribuciones clave de este artículo es la propuesta de utilizar la complejidad cognitiva como un criterio objetivo para decidir cuándo añadir comentarios de implementación al código. A diferencia de otros enfoques que solo usan esta métrica de complejidad para justificar una reestructuración, en este trabajo se extiende su aplicación, estableciendo que incluso valores de complejidad por debajo del umbral de reestructuración pueden ser mitigados con la adición de comentarios pertinentes. Esto proporciona un criterio claro que ayuda a los desarrolladores a saber cuándo incluir comentarios de implementación para facilitar la comprensión del código.

Además, se ilustró cómo una estrategia de medición y evaluación como GOCAMEC puede ser una herramienta didáctica eficaz. Al aplicar esta estrategia, los estudiantes no solo aprendieron a identificar problemas de mantenibilidad en el código, sino también a diseñar e implementar cambios concretos para mejorar su calidad. Este proceso cíclico de evaluación y mejora es fundamental para la formación de futuros ingenieros de sistemas, preparándolos para desarrollar software que sea no solo funcional, sino también sostenible a largo plazo.

Si bien el presente trabajo se centró en un caso académico, con un código fuente elemental, el mismo es suficiente para el propósito de la asignatura Ingeniería de Software II, la cual no tiene el foco en competencias específicas de codificación/programación sino en las de

[2] https://doxygen.nl/

[3] https://www.sphinx-doc.org/en/master/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



medición, evaluación y mejora de una entidad –en este caso un pequeño programa en Java– usando métricas e indicadores, y una estrategia de evaluación y mejora. Además, los conceptos y la estrategia de evaluación son escalables y aplicables a otros lenguajes de programación y a diferentes contextos del ciclo de vida del software, no solo en el ámbito académico sino también en la industria.

Por último, se recomendó considerar buenas prácticas de documentación en el contexto de las metodologías ágiles.

Como trabajo futuro se prevé desarrollar estrategias de mantenimiento de software. Para lograrlo, se planea, en primer lugar, crear una ontología para el dominio de mantenimiento de software y, posteriormente, especificar procesos detallados de mantenimiento considerando si éste es de tipo correctivo, adaptativo, perfectivo o preventivo.

## Referencias

[1] Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., Thomas, D., "Manifesto for Agile Software Development", 2001. Último acceso Agosto de 2025. Disponible en https://agilemanifesto.org/

[2] Becker, P., Olsina, L., Papa, M.F., "Approach to Improving Java Source Code considering Non-compliance with a Java Style Guide", Springer book: Computer Science – CACIC 2022, Communications in Computer and Information Science, CCIS 1778, Chapter 9, 2023, pp. 123–139.

[3] Becker, P., Olsina L., Papa, M.F., "Especificación de Métricas de Mantenibilidad para Mejorar Código Java: Caso Aplicado en un Curso Avanzado de Ingeniería en Sistemas", 11vo Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI), Tucumán, Argentina, 2023, pp. 562–575, ISBN: 978-987-8992-38-9.

[4] Campbell, G. A., "Cognitive complexity - a new way of measuring understandability", 2021. Último acceso Agosto de 2025. Disponible en https://www.sonarsource.com/resources/cognitive-complexity/

[5] Campbell, G. A., "Cognitive Complexity — An Overview and Evaluation", IEEE/ACM International Conference on Technical Debt (TechDebt), Gothenburg, Sweden, 2018, pp. 57–58.

[6] Cozzetti B. de Souza S., Anquetil N., Marçal de Oliveira K., "A study of the documentation essential to software maintenance", 23rd annual international conference on Design of communication: documenting & designing for pervasive information (SIGDOC '05). Association for Computing Machinery, New York, USA, 2005, pp. 68–75, https://doi.org/10.1145/1085313.1085331.

[7] Curtis, B., Kellner, M., Over, J., "Process Modelling", Communications of the ACM, 35 (9), 1992, pp. 75–90.

[8] Elish, M., Offutt, J., "The adherence of open source java programmers to standard coding practices", 6th IASTED Int'l Conf. on Software Eng. and Applications, 2002, pp. 1–6.

[9] Fernández-Huerta, J., "Medición de la legibilidad". Revista Española de Pedagogía, 17(68), 1959, pp. 1-28.

[10] Google Java Style Guide. Último acceso Sept. de 2024. Disponible en https://google.github.io/styleguide/javaguide.html.

[11] Gunning, R., "The Technique of Clear Writing", McGraw-Hill, 1952.

[12] ISO/IEC 9126-1: Software Engineering – Software Product Quality – Part 1: Quality Model, International Organization for Standardization, Geneva, 2001.

[13] ISO/IEC 25010. Systems and Software Engineering – Systems and software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models, 2011.

[14] McCabe, T. J., "A complexity measure", IEEE Transactions on Software Engineering, vol. SE-2, No. 4, 1976, pp. 308–320.

[15] Olsina, L., Becker, P., "Family of Strategies for different Evaluation Purposes", 20va Conferencia Iberoamericana en Software Engineering (CIbSE'17) en el marco de ICSE, CABA, Argentina, Published by Curran Associates, 2017, pp. 221–234.

[16] OMG-SPEM. Software & Systems Process Engineering Meta-Model Specification v2.0, 2008.

[17] Papa, M.F., Becker, P., Olsina, L., "Indicadores de Adherencia a Guías de Estilo Java: Caso Aplicado en una Asignatura de Ingeniería en Sistemas", 12vo Congreso Nacional de Ingeniería Informática/Sistemas de Información (CoNaIISI), Catamarca, Argentina, 2024, pp. 602-615, ISBN: 978-987-661-530-3.

[18] Parnas, D. L., "Software aging", 16th International Conference on Software Engineering, Sorrento, Italy, 1994, pp. 279-287, https://doi.org/10.1109/ICSE.1994.296790.

[19] Pereira-Vale, A., Vera, T., Vásquez, C., Perovich, D., Simmonds, J., Ochoa, S.F., "Understanding the product knowledge acquisition process in multiprovider software evolution scenarios: An exploratory study", Information and Software Technology, vol. 183, 2025, https://doi.org/10.1016/j.infsof.2025.107738.

[20] Rubey, R. J. and Hartwick, R. D., "Quantitative measurement of program quality", 23rd ACM Nat. Conf., Jan. 1968, pp. 671–677, https://doi.org/10.1145/800186.810631.

[21] Sosa, D., Papa, M.F., Becker, P., Olsina, L., "Mapeo de Atributos a partir de Guías de Estilo de Programación y Automatización de sus Métricas", ASSE'24, Argentine Symposium on Software Engineering, 53 JAIIO, Bahia Blanca, Arg., 2024, pp. 71–84, ISSN: 2451-7496.

[22] Theunissen, T., van Heesch, U., and Avgeriou, P., "A mapping study on documentation in Continuous Software Development", Information and Software Technology, vol. 142, 2022, https://doi.org/10.1016/J.INFSOF.2021.106733

[23] Verdugo, J., Oviedo, J., Rodriguez, M. and Piattini, M., "Connecting Research and Practice for Software Product Quality Evaluation and Certification: A Software Laboratory's 25-Year Journey", IEEE Software, vol. 41, no. 03, pp. 33-40, May-June 2024, https://doi.org/10.1109/MS.2024.3357119.

[24] Wong, S., "Commenting in Java", 2017. Último acceso Agosto de 2025. Disponible en https://www.clear.rice.edu/comp310/JavaResources/comments.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Seguridad Integral en Sistemas Web: Un Método Proactivo Basado en Semiótica y Patrones de Ataque

Pablo Nicolás Sasowski
*Maestría en Ingeniería de Software – Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP)*
pablosaso80@gmail.com

Leandro Antonelli
*LIFIA – Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP); CAETI – Facultad de Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana (UAI)*
leandro.antonelli@lifia.info.unlp.edu.ar

Miguel Solinas
*LARYC, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC)*
miguel.solinas@unc.edu.ar

Julio Ariel Hurtado Alegría
*Grupo IDIS, Universidad del Cauca*
ahurtado@unicauca.edu.co

**Resumen**

*El desarrollo seguro de aplicaciones web exige detectar requisitos de seguridad desde etapas tempranas, dado el aumento de ataques que explotan vulnerabilidades conocidas. En este contexto, el análisis de interacciones usuario-sistema como signos interpretables ha surgido como un enfoque metodológico valioso para anticipar amenazas. Este trabajo explora una extensión de un modelo semiótico existente, integrando patrones de ataque documentados para guiar la identificación proactiva de posibles escenarios maliciosos. La propuesta muestra resultados alentadores mediante un estudio de caso, sugiriendo su aplicabilidad como metodología escalable en entornos críticos.*

**Palabras clave:** Patrones de ataque, Requisitos de seguridad, Análisis semiótico, Ingeniería de requisitos, Seguridad en sistemas web.

## 1. Introducción

La creciente complejidad de las aplicaciones web y el aumento sostenido de ataques cibernéticos han puesto de manifiesto la necesidad de incorporar requisitos de seguridad desde las fases iniciales del desarrollo de software. En particular, vulnerabilidades críticas como los ataques Cross-Site Request Forgery (CSRF) continúan siendo explotadas en entornos reales, especialmente cuando las validaciones específicas — como la implementación de tokens CSRF únicos — están ausentes o mal configuradas [11]. Diversos estudios recientes destacan que muchas de las soluciones actualmente adoptadas son de naturaleza reactiva o carecen de estructuras metodológicas sólidas que permitan anticipar amenazas desde una perspectiva integral [1, 10]. Esta situación evidencia la importancia de contar con estrategias de análisis que faciliten la identificación temprana y sistemática de posibles vectores de ataque durante la etapa de definición de requisitos.

Entre las propuestas emergentes en el campo de la ingeniería de requisitos de seguridad, el enfoque semiótico desarrollado por Hurtado et al. [8] se distingue por ofrecer una mirada innovadora: modela las interacciones entre el usuario y el sistema como signos que pueden tener significados denotativos (uso legítimo) o connotativos (uso malicioso). Esta aproximación ha demostrado ser valiosa, particularmente en dominios como el Internet de las Cosas (IoT), donde la anticipación de comportamientos anómalos representa un factor clave en la protección de infraestructuras críticas. El enfoque permite representar y analizar escenarios de uso legítimos y desviaciones maliciosas, contribuyendo a un diseño más consciente de los riesgos desde etapas tempranas.

No obstante, una de las oportunidades de mejora identificadas en este modelo radica en su segunda etapa, referida a la identificación de amenazas. Esta fase depende en gran medida del juicio experto del analista para reconocer posibles usos maliciosos del sistema, lo que puede afectar la sistematicidad y reproducibilidad del proceso, especialmente cuando se trata de capturar amenazas recurrentes ya documentadas. Ante este panorama, se plantea la necesidad de reforzar dicha etapa mediante la incorporación de mecanismos formales que guíen el análisis con mayor precisión.

Este trabajo propone una extensión del modelo semiótico original, complementando su base conceptual con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



un conjunto estructurado de patrones de ataque provenientes del repositorio CAPEC (Common Attack Pattern Enumeration and Classification) de MITRE [4]. Por ejemplo, se integran patrones tales como CAPEC-62 (Cross-Site Request Forgery, CSRF) y CAPEC-63 (Cross-Site Scripting, XSS) [2, 4] integrando patrones de ataque vinculados a cinco vulnerabilidades recientes que afectan aplicaciones Spring Boot: CAPEC-115 [24] (bypass de autenticación/autorización), CAPEC-126 [25] (path traversal) y CAPEC-473 [26] (suplantación de firma), derivados del análisis de avisos oficiales de Spring para dichos CVE [19 – 23]. Estos patrones, entendidos como artefactos reutilizables de conocimiento en ciberseguridad, ofrecen descripciones detalladas de estrategias ofensivas comunes que pueden ser mapeadas directamente sobre escenarios modelados. De este modo, se enriquece la etapa de detección de amenazas con una base formal que favorece la identificación proactiva de desviaciones maliciosas, fortaleciendo el diseño de contramedidas específicas desde los requisitos.

El método propuesto mantiene la estructura original de cuatro pasos, incorporando en su segunda fase un análisis sistemático orientado por patrones de ataque documentados. A su vez, contempla la derivación temprana de contramedidas y un mecanismo de refinamiento continuo apoyado en técnicas de monitoreo activo. Su aplicación se apoya en herramientas ampliamente reconocidas, como OWASP Threat Dragon, Spring Security, Semgrep y Prometheus, que facilitan tanto el modelado como la implementación de medidas de defensa adaptativas.

Para ilustrar su aplicabilidad, se presenta un estudio de caso basado en cinco vulnerabilidades críticas de Spring Boot identificadas en los CVE más recientes publicados por MITRE, donde se evidencia cómo el método puede anticipar el riesgo mediante medidas de seguridad específicas. La propuesta resulta así en una metodología replicable, adaptable y escalable que refuerza la ingeniería de requisitos de seguridad desde una perspectiva semiótica complementada con ingeniería de ataques. Esta contribución busca aportar una base metodológica sólida para el desarrollo de aplicaciones web seguras en el ecosistema Java (framework Spring Boot), en contextos críticos y de alta exposición.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 presenta el estado del arte relevante. La Sección 3 describe el marco conceptual que sustenta la propuesta, incluyendo fundamentos de semiótica y patrones de ataque. La Sección 4 detalla el método propuesto. En la Sección 5 se aplica el método sobre un estudio de caso con Spring Boot, mostrando paso a paso su implementación y resultados. Finalmente, la Sección 6 expone las conclusiones derivadas de esta investigación.

## 2. Estado del Arte

La creciente sofisticación de los ataques a aplicaciones web ha impulsado el desarrollo de enfoques más integrales para identificar y gestionar requisitos de seguridad desde las etapas iniciales del ciclo de vida del software. Frente a las limitaciones de modelos tradicionales, investigaciones recientes avanzan hacia la incorporación de técnicas proactivas, semióticas y de aprendizaje automático para anticipar amenazas como Cross-Site Scripting (XSS), Cross-Site Request Forgery (CSRF) y aquellas tipificadas por CAPEC-126 [25] (path traversal), CAPEC-473 [26] (suplantación de firma) y CAPEC-115 [24] (bypass de autenticación/autorización), cuya presencia se ha verificado en incidentes recientes del ecosistema Spring [19–23]. A modo de evidencia, los reportes CVE-2024-38816 (traversal en marcos funcionales), CVE-2024-38821 (bypass de recursos estáticos en WebFlux) y CVE-2024-38827 (desajustes en comparaciones de mayúsculas/minúsculas) muestran cómo estos patrones se materializan en la práctica y justifican controles más precisos desde la fase de requisitos [22, 21, 20].

Una de las tendencias más estudiadas es la aplicación de algoritmos de machine learning en la detección automática de vulnerabilidades. Kumar y Sharma [12] analizaron técnicas supervisadas como Random Forest, SVM y k-NN para la identificación de XSS, observando mejoras significativas respecto de métodos basados en firmas. Del mismo modo, Oshoiribhor y John-Otumu [13] desarrollaron XSS-Net, una arquitectura de redes neuronales profundas que alcanzó una precisión del 99,70 % en la clasificación de cargas maliciosas. Durai et al. [14] exploraron enfoques híbridos combinando CNN con LSTM, demostrando mayor capacidad de adaptación ante variantes no vistas previamente. No obstante, estos enfoques se aplican mayormente en tiempo de ejecución, sin intervenir en la fase de análisis de requisitos, lo cual limita su capacidad de prevención temprana.

Desde una perspectiva estructural, Disanayake et al. [15] propusieron un marco racionalizado para aplicaciones web basado en la clasificación de activos según su criticidad operativa y de datos. El modelo, alineado con estándares como NIST e ISO, ofrece criterios claros para priorizar medidas de seguridad desde fases iniciales del proyecto; sin embargo, no contempla explícitamente el uso de patrones de ataque conocidos ni integra recursos semióticos. En paralelo, Nawrocki y Kołodziej [16] realizaron un análisis comparativo entre OWASP Top 10 (2017 vs. 2021), señalando que la evolución de las amenazas requiere mecanismos de adaptación más dinámicos; pese a ello, no presentan una metodología concreta para derivar requisitos a partir de casos de uso específicos.

En línea con enfoques más teóricos, Shahid [17] presentó una revisión sobre el uso de machine learning para detectar y mitigar simultáneamente vulnerabilidades XSS y CSRF, destacando la necesidad de marcos combinados capaces de afrontar amenazas múltiples. En esa dirección, Kshetri et al. [18] propusieron el marco algoXSSF, que modela ataques XSS y CSRF desde la fase de requisitos mediante aprendizaje supervisado. Aunque ambas propuestas resultan promisorias, no abordan la integración de un análisis semiótico formal ni contemplan un mecanismo de retroalimentación que habilite el refinamiento continuo tras el despliegue.

En cuanto a recursos estructurados para describir amenazas, el repositorio CAPEC [4] se ha utilizado como fuente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistemática para modelar ataques comunes. Barnum y Sethi [2] defendieron su uso como recurso de conocimiento reutilizable para la construcción de software seguro, enfatizando su valor durante las etapas de diseño. En la misma línea, Blackwell [3] exploró la formalización de patrones de ataque para facilitar su aplicación en herramientas de modelado. También ha ganado atención la integración de modelos semióticos en el análisis de seguridad: Hurtado et al. [8] presentaron un enfoque centrado en la interpretación de signos en interacciones usuario-sistema, aplicado al dominio IoT. Si bien este modelo aporta una perspectiva valiosa para anticipar usos maliciosos a partir de significados connotativos, su fase de identificación de amenazas depende fuertemente de la pericia del analista, lo que puede limitar su aplicabilidad y reproducibilidad en entornos complejos.

Finalmente, los trabajos de OWASP [7, 11] siguen siendo referentes clave en la definición de prácticas de seguridad. Su enfoque basado en listas, como el OWASP Top 10, proporciona una guía útil pero de carácter generalista, sin una metodología específica para anticipar amenazas desde los requisitos.

En síntesis, aunque se observa una evolución significativa en la identificación de amenazas y en el uso de herramientas formales, persiste una brecha metodológica entre la detección técnica y la ingeniería de requisitos. En particular, escasean enfoques que combinen sistemáticamente patrones de ataque documentados (CAPEC, OWASP) con marcos de análisis de interacción (semiótica) y mecanismos de ajuste posdespliegue. En continuidad con lo anterior, los patrones CAPEC vinculados a los CVE más recientes de Spring Boot (CAPEC-115 [24], CAPEC-126 [25] y CAPEC-473 [26]) ofrecen una base formal para trazar requisitos verificables y controles de diseño [19–23].

## 3. Marco Conceptual

En esta sección se describen los fundamentos metodológicos sobre los cuales se apoya la contribución presentada en la Sección 4. En la Subsección 3.1 se resume brevemente el método semiótico aplicado a la seguridad informática, dado que la contribución de este trabajo se enfoca en mejorar la etapa de identificación de amenazas (Paso 2) de dicho método. Luego, en la Subsección 3.2 se detalla cómo se integran los patrones de ataque CAPEC para mapear las desviaciones maliciosas identificadas mediante el análisis semiótico a escenarios de explotación concretos, enriqueciendo la identificación temprana de amenazas y permitiendo diseñar contramedidas específicas desde la fase de requisitos.

### 3.1 Semiótica Aplicada a la Seguridad Informática

La semiótica, como disciplina encargada del estudio de los signos y sus significados, ha sido adaptada al análisis de interacciones entre usuarios y sistemas informáticos en contextos de ciberseguridad [8]. Desde esta perspectiva, cada interacción — como un clic en un enlace o una solicitud POST — se considera un signo que puede tener un significado denotativo (uso legítimo) o connotativo (potencial acción maliciosa). Esta interpretación permite enriquecer el análisis de escenarios, considerando que una misma acción puede ser interpretada de formas distintas según el contexto técnico y de seguridad del sistema.

El trabajo de Hurtado et al. [8] formaliza esta visión en un enfoque que permite modelar escenarios de seguridad a partir de acciones observadas. Particularmente relevante para este estudio es el segundo paso de su enfoque, donde se identifican usos incorrectos del sistema como base para derivar escenarios de seguridad. En la Figura 1 se ilustra esta etapa, que sirve de fundamento para el análisis semiótico de las acciones en el presente estudio.

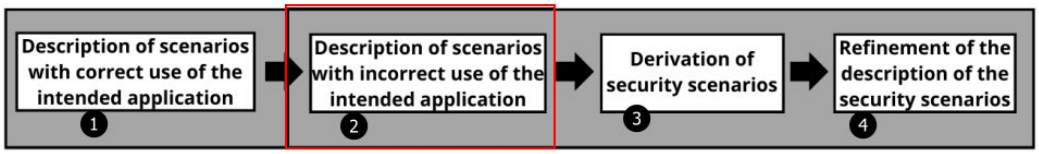



**Figura 1. Etapa 2 del enfoque semiótico para modelado de escenarios de seguridad en sistemas web, adaptado de [8]**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esta representación se utiliza en el método propuesto como insumo clave para identificar signos que puedan alinearse con patrones de ataque documentados. El enfoque semiótico permite anticipar de manera sistemática posibles desviaciones maliciosas en las interacciones del usuario. Por ejemplo, un clic legítimo en "crear repositorio" puede denotar una acción esperada del usuario, pero también puede connotar un intento de explotación si se realiza en un contexto donde falta protección CSRF. Así, el enfoque semiótico complementa la ingeniería de requisitos al detectar significados alternativos en la interacción, reforzando la identificación proactiva de amenazas. Este rasgo distintivo posiciona al enfoque semiótico por encima de técnicas más tradicionales de análisis de comportamiento, como las basadas únicamente en trazas o registros de eventos.

### 3.2 Patrones de Ataque Basados en CAPEC

El segundo pilar conceptual de este trabajo es el uso de patrones de ataque formalizados provistos por la base Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC) del MITRE [4]. CAPEC sistematiza el conocimiento sobre técnicas de ataque, describe precondiciones y modos de explotación, e incorpora contramedidas típicas, lo que habilita un lenguaje estandarizado para razonar sobre amenazas y para derivar salvaguardas desde el diseño. En la línea de Barnum y Sethi [2], tratamos a los patrones como artefactos reutilizables que encauzan la experiencia acumulada y reducen la ambigüedad en la toma de decisiones: su valor no es únicamente taxonómico, sino también operativo, porque facilitan la traducción de observaciones empíricas en requisitos verificables. Esta investigación adopta ese enfoque y lo integra con el análisis semiótico propuesto, de manera que los signos connotativos detectados puedan contrastarse con estructuras conocidas de ataque y, a partir de allí, se definan controles de ingeniería con trazabilidad explícita.

En el estudio de caso del ecosistema Spring Boot se definió un mapeo sistemático CVE→CAPEC que concentra la atención en tres familias de ataque observadas en reportes recientes: (i) Path Traversal, representada por CAPEC-126 [25] y materializada en CVE-2024-38816; (ii) Signature Spoof, representada por CAPEC-473 [26] y evidenciada en CVE-2024-38807; y (iii) Authentication/Authorization Bypass, representada por CAPEC-115 [24] y constatada en CVE-2024-38821, CVE-2024-38827 y CVE-2025-22235. El mapeo se apoya en los avisos oficiales de Spring [19 – 23] y en las definiciones de CAPEC [24 – 26], y se consolida en la Tabla 1. Esta selección no pretende agotar el universo de amenazas; más bien, organiza el análisis en torno a las vulnerabilidades con mayor relevancia práctica para el caso, maximizando la capacidad explicativa y la alineación con evidencia empírica reciente.

CAPEC-126 (Path Traversal) captura la clase de errores donde entradas controladas por el usuario influyen en la resolución de rutas, habilitando accesos fuera del árbol previsto. En Spring, los marcos funcionales (WebMvc.fn/WebFlux.fn) introducen flexibilidad en la composición de "handlers"; si no se normaliza estrictamente la ruta y no se restringen ubicaciones válidas, es posible construir trayectorias que escapen el directorio autorizado. CVE-2024-38816 [22] ejemplifica este fenómeno: la ausencia de validaciones adecuadas permitía que ciertos patrones de entrada forzaran la exposición de recursos no intencionales. La mitigación correspondiente —congruente con CAPEC-126— implica (a) normalización y validación canónica de rutas, (b) "whitelists" de ubicaciones explícitas, (c) rechazo de secuencias ambiguas (p. ej., ".."", caracteres nulos), y (d) pruebas de aceptación que ejerciten variantes de "bypass" conocidas. Dentro del marco semiótico del método, estas salvaguardas emergen cuando una acción connotativa (p. ej., "serveStaticResource" fuera de contexto) coincide con la estructura formal del patrón.

CAPEC-115 (Authentication/Authorization Bypass) describe escenarios en los que la política de acceso se ve neutralizada por configuraciones, reglas o comparaciones defectuosas. En aplicaciones reactivas y marcos modernos, pequeños detalles en el "matching" de rutas, la sensibilidad a "locale" o la cobertura de "endpoints" especiales pueden derivar en rutas transitables sin autorización. CVE-2024-38821 [21] muestra que, bajo condiciones específicas, recursos estáticos en WebFlux podían quedar fuera de las reglas de autorización; CVE-2024-38827 [20] expone fallas por comparaciones "case" dependientes de "locale"; y CVE-2025-22235 [19] revela el riesgo de expresiones demasiado permisivas (p. ej., "matchers" "null/**" en "EndpointRequest"). Las contramedidas —alineadas con CAPEC-115— incluyen políticas "deny-by-default", listas de control explícitas para cada contexto, comparaciones insensibles a "locale" y cobertura de rutas residuales (p. ej., "/null" o equivalentes), además de "hardening" de componentes de "auto-configuration" y pruebas de regresión que verifiquen la no regresión ante cambios de versión.

CAPEC-473 (Signature Spoof) agrupa vectores donde un atacante forja o suplanta firmas para burlar mecanismos de integridad, especialmente en "loaders" o cadenas de "nested JARs". CVE-2024-38807 [23] ilustra riesgos de validación ad-hoc en el "Boot Loader": una verificación no estandarizada de firmas podía ser engañada, abriendo la puerta a artefactos manipulados. En coherencia con el patrón CAPEC-473, la defensa requiere validar criptográficamente con bibliotecas y algoritmos reconocidos, verificar cadenas de confianza completas y eliminar validadores caseros. Desde la óptica del método, cualquier signo connotativo que denote manipulación en el flujo de carga (p. ej., discrepancias entre metadatos y firmas) se contrasta con el patrón, y deriva requisitos verificables: verificación "offline" de firmas, "pinning" de certificados cuando corresponde y auditorías recurrentes del proceso de construcción y distribución.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La utilidad operativa de los patrones se incrementa al integrarlos con el análisis semiótico adoptado. El método establece escenarios legítimos (signos denotativos) y detecta desviaciones connotativas que sugieren abuso. Esa desviación no se resuelve con intuición, sino con un cotejo estructurado contra CAPEC: si la forma de la interacción coincide con CAPEC-126, se anticipan caminos de "traversal"; si cuadra con CAPEC-115, se presupone debilidad en la política de acceso; si se aproxima a CAPEC-473, se ponen bajo escrutinio las verificaciones criptográficas. El resultado es un vínculo explícito entre observación, patrón y control de diseño, que a su vez habilita criterios de aceptación medibles y trazables a la evidencia de los CVE estudiados [19 – 23].

En términos de ingeniería de requisitos, esta articulación brinda tres beneficios. Primero, "repetibilidad": analistas distintos, enfrentados a la misma desviación, tenderán a derivar controles equivalentes porque se apoyan en el mismo patrón formal. Segundo, "completitud": el catálogo CAPEC actúa como "checklist" razonado, reduciendo la probabilidad de omitir vectores relevantes. Tercero, "trazabilidad": cada requisito se vincula con un patrón y con un CVE de referencia, de modo que las decisiones de diseño pueden defenderse ante auditorías y evolucionar con el tiempo con base en nueva evidencia. Estas propiedades son críticas para proyectos con fuertes restricciones regulatorias o con superficies de ataque amplias, como microservicios web que combinan marcos reactivos, "loaders" especializados y "actuators" de operación.

Si bien la literatura general cita con frecuencia patrones como CAPEC-62 (CSRF) y CAPEC-63 (XSS) por su prevalencia histórica, en este trabajo se los emplea como marco contextual para situar el enfoque dentro de familias de amenazas ampliamente documentadas; no constituyen el foco del estudio de caso, que se restringe a CAPEC-126, CAPEC-115 y CAPEC-473 conforme a la Tabla 1 y a los avisos de seguridad considerados [19 – 26]. Esta delimitación favorece la claridad analítica y asegura que las conclusiones se sostengan sobre evidencia reciente del ecosistema Spring Boot.

Los patrones seleccionados permiten una cadena de trazabilidad completa —desde CVE observados hasta controles de diseño y verificación— que se integra con el análisis semiótico del método para reducir ambigüedades y reforzar la repetibilidad. El resultado es un marco operativo que prioriza mitigaciones medibles (CAPEC-126/115/473), facilita su monitorización continua y habilita la extensión a nuevas variantes sin alterar la lógica central del enfoque.

## 4. Método Propuesto

Esta sección describe el método propuesto, enfatizando la contribución original de este trabajo: la mejora de la fase 2 del enfoque semiótico mediante la integración sistemática de patrones CAPEC para guiar la identificación de amenazas. El método está orientado a la identificación temprana de requisitos de seguridad en aplicaciones web, articulando el análisis semiótico de interacciones usuario-sistema con patrones de ataque formalizados de la base CAPEC. A diferencia de enfoques tradicionales que aplican controles de seguridad en etapas posteriores del desarrollo o mediante reglas genéricas, esta metodología permite anticipar vulnerabilidades desde la fase de requisitos, alineando el diseño del sistema con amenazas conocidas y escenarios de uso reales.

El enfoque parte de una concepción semiótica de la interacción, donde toda acción del usuario (por ejemplo, clics en botones, envío de formularios o eventos de navegación) se interpreta como un signo cuyo significado puede ser legítimo (denotativo) o malicioso (connotativo), según el contexto operativo y las defensas implementadas. Este análisis cualitativo se potencia mediante su correlación con patrones de ataque estandarizados, tales como CAPEC-62 (CSRF) o CAPEC-63 (XSS), posibilitando un mapeo sistemático entre los signos observados y las amenazas documentadas. En esta fase, se prioriza revisar CAPEC-126 [25], CAPEC-115 [24] y CAPEC-473 [26], alineando el modelado de amenazas con los CVE seleccionados y definiendo requisitos verificables desde el diseño [19 – 23]. En la Fase 2, se prioriza la consulta de CAPEC-126 [25], CAPEC-115 [24] y CAPEC-473 [26], asegurando que las desviaciones connotativas detectadas se contrasten con estos patrones para derivar salvaguardas medibles desde la etapa de diseño.

El método se organiza en cuatro fases principales: (1) Modelado de escenarios legítimos, donde se definen las acciones esperadas de los usuarios y su significado operacional; (2) Identificación estructurada de desviaciones maliciosas, que emerge de contrastar los signos connotativos frente a los patrones CAPEC pertinentes; (3) Definición de contramedidas específicas, formuladas como requisitos de seguridad derivados de las amenazas identificadas; y (4) Refinamiento continuo mediante monitoreo dinámico, que ajusta las defensas en función de cambios contextuales o de la detección de nuevas variantes de ataque.

A continuación, se describen cada fase en detalle, destacando en particular las mejoras introducidas en la Fase 2, que constituye el núcleo de la contribución metodológica de este trabajo.

### 4.1 Fase 1: Modelado de Escenarios Legítimos mediante Patrones de Interacción

La fase inicial del método parte del reconocimiento de las interacciones legítimas entre el usuario y el sistema como signos denotativos, tal como lo establece el enfoque semiótico aplicado a la ingeniería de requisitos propuesto por Hurtado et al. [8]. Este modelado se traduce en un conjunto de casos de uso donde se establecen flujos esperados de interacción. Cada una de estas acciones (por ejemplo, "crear un repositorio" en una aplicación de control de versiones) se formaliza con atributos semánticos y sintácticos que permiten su posterior contraste con acciones maliciosas potenciales.

Por ejemplo, en el contexto de una plataforma de repositorios de código (inspirada en el incidente de seguridad de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



GitHub en 2012, asociado a mass assignment [27]), la acción de crear un nuevo repositorio por parte de un usuario autenticado es legítima y denotativa. Sin embargo, esta misma acción puede convertirse en objetivo de ataque cuando el sistema acepta parámetros no previstos y los aplica a objetos de dominio (fenómeno descrito formalmente en CWE-915) [30]. Para evitarlo, el método incluye desde esta fase consideraciones de protección complementarias: (i) estipular que todas las solicitudes críticas (p. ej., creación o eliminación de repositorios) incorporen tokens CSRF únicos y de corta duración [9]; (ii) imponer políticas de filtrado estricto de atributos ("strong parameters") y listas blancas de campos para impedir sobre-asignaciones [31], [32]; y (iii) verificar dichas medidas con pruebas automatizadas e instrumentación, en línea con enfoques recientes para descubrir/mitigar "mass assignment" en APIs REST [28], [29]. De este modo, la verificación de origen y alcance de cada petición queda explícita, reduciendo el espacio de explotación.

A partir de los escenarios legítimos modelados, se identifican puntos críticos que requieren validación adicional. Por ejemplo, operaciones POST que modifican recursos persistentes (crear, actualizar o borrar datos importantes) son marcadas como sensibles. Para estas operaciones, el método establece la obligatoriedad de incluir mecanismos de autenticación y validación robustos, como los tokens CSRF temporales mencionados, en línea con las recomendaciones del patrón CAPEC-62 [4] para prevenir CSRF. De esta manera, la fase 1 produce una especificación de interacciones legítimas enriquecida con anotaciones de seguridad preventiva, que servirá de base para detectar comportamientos anómalos en la fase 2.

### 4.2 Fase 2: Identificación Estructurada de Desviaciones Maliciosas

En esta etapa se integra explícitamente el aporte central de la propuesta: el uso de patrones de ataque documentados (como los provistos por CAPEC) con el objetivo de mapear desviaciones connotativas respecto de los signos legítimos definidos en la fase 1. A diferencia de enfoques tradicionales basados exclusivamente en pruebas ad-hoc o scans estáticos de vulnerabilidades, aquí se simulan escenarios de ataque guiados por las condiciones estructurales descritas en patrones reconocidos. En concreto, se contrastan las posibles acciones maliciosas contra la colección de patrones CAPEC relevante (por ejemplo, CAPEC-62 para CSRF, CAPEC-63 para XSS, entre otros mencionados en la Introducción).

Siguiendo con el caso de la plataforma de repositorios, supongamos que un atacante intenta inducir al usuario a ejecutar — mediante un enlace externo especialmente diseñado — una solicitud POST sin su conocimiento, logrando una acción destructiva en el sistema, como la eliminación de un repositorio. Este escenario corresponde a un ataque CSRF típico (reflejado en CAPEC-62). El método propuesto permite establecer correlaciones directas entre los signos maliciosos (en este caso, la solicitud POST inesperada) y sus correspondientes vectores de ataque documentados. De esta manera, es posible anticipar la ocurrencia de tales ataques antes incluso de implementar el sistema, analizando la descripción semiótica de la interacción y comparándola con el catálogo de patrones.

Para continuar con el ejemplo, una vez detectada la posibilidad de un CSRF en esta interacción (desviación connotativa respecto al uso legítimo de "eliminar repositorio"), se formulan de inmediato reglas de prevención basadas en los patrones: el método establece que todas las solicitudes que impliquen modificaciones sensibles en el sistema deben incluir no solo un token de autenticación válido sino también validaciones adicionales del lado del servidor (por ejemplo, verificación de cabeceras Referer u Origin). Estas medidas, inspiradas en prácticas recomendadas por OWASP y formalizadas en CAPEC, impiden la ejecución automática de comandos peligrosos enviados desde contextos no autorizados, reduciendo drásticamente el margen de explotación.

Cabe destacar que la fase 2 del método, gracias a la integración de CAPEC, sistematiza lo que antes dependía únicamente de la intuición del analista. Al mapear cada posible abuso con un patrón conocido, el enfoque propuesto aporta repetibilidad y completitud al proceso de identificación de amenazas: se reduce la probabilidad de pasar por alto vectores de ataque ya registrados en la literatura de seguridad.

### 4.3 Fase 3: Definición de Contramedidas Adaptativas

Una vez identificadas las posibles desviaciones maliciosas en la fase 2, se procede a la formulación de requisitos de seguridad específicos como contramedidas, alineados con el análisis previo. Esta fase traduce la lógica de los patrones de ataque en directrices técnicas concretas para el sistema en desarrollo. En otras palabras, cada patrón CAPEC asociado a una amenaza se convierte en requisitos o controles de seguridad que deben implementarse para mitigar esa amenaza.

Por ejemplo, frente a un aumento en las solicitudes maliciosas identificadas como CSRF en el análisis (como en el escenario de la fase 2), el sistema podría definir dinámicamente políticas más estrictas para la expiración de tokens de sesión o introducir verificaciones adicionales en los encabezados HTTP de las peticiones, tal como proponen Chechet et al. [5] en arquitecturas modernas de front-end resiliente. En el contexto de este estudio de caso (la plataforma tipo GitHub), esto se traduce en una política reforzada: cada operación crítica requerirá una doble validación que combine el token CSRF con un encabezado de autenticación personalizado, estableciendo un nivel de seguridad más robusto sin afectar la experiencia del usuario.

Este enfoque se distancia de modelos estáticos al introducir un componente adaptativo, donde las contramedidas pueden evolucionar según el comportamiento del sistema. Está en línea con estrategias de seguridad continua [6], ya que los requisitos de seguridad no quedan fijos, sino que pueden refinarse si las amenazas cambian. En síntesis, la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



fase 3 garantiza que por cada amenaza identificada se definan soluciones específicas, concretando así la incorporación temprana de medidas de protección en el diseño del sistema.

### 4.4 Fase 4: Refinamiento Continuo mediante Monitoreo Dinámico

La última fase establece un ciclo de retroalimentación continua, en el cual el sistema monitorea las interacciones en tiempo real para ajustar automáticamente sus políticas de protección. Esta etapa se inspira en recomendaciones de marcos de mejora continua en ciberseguridad (como las propuestas en [6] y las prácticas DevSecOps) y en el paso 3 del modelo semiótico de Hurtado et al. [8], donde los escenarios se refinan a partir de desviaciones observadas durante la operación.

En la práctica, el sistema instrumentado recoge métricas e indicadores de seguridad mientras está en funcionamiento. Cuando se detectan patrones anómalos — por ejemplo, múltiples tokens CSRF inválidos presentados en un corto período de tiempo, lo que podría indicar intentos repetidos de ataque — el sistema ajusta automáticamente ciertos parámetros de seguridad. Dichos ajustes pueden incluir, entre otros: acortar la duración de las sesiones de usuario, bloquear temporalmente ciertas operaciones sospechosas o requerir una autenticación reforzada (como un re-login o un segundo factor) para continuar con operaciones críticas. Todo esto se realiza incrementando la resiliencia del sistema sin afectar de forma significativa la usabilidad general, ya que los ajustes son específicos y se disparan solo ante condiciones anómalas.

Este ciclo de monitoreo y adaptación cierra el bucle metodológico, asegurando que el sistema no solo nace con medidas de seguridad derivadas de la semiótica y los patrones de ataque, sino que evoluciona continuamente frente a nuevas amenazas o cambios en el entorno. De este modo, la propuesta metodológica presentada ofrece una contribución original al campo de la ingeniería de requisitos de seguridad, al combinar un marco interpretativo semiótico con patrones de ataque estructurados. Esto permite una detección más temprana, específica y adaptativa de vulnerabilidades, apoyada en bases teóricas sólidas y reforzada con un componente empírico de monitoreo en tiempo real.

## 5. Estudio de Caso

Para ilustrar la viabilidad y el valor práctico del método, esta sección presenta una validación exploratoria en un escenario representativo del ecosistema Spring Boot. El objetivo de este estudio de caso no es ofrecer una validación empírica exhaustiva, sino demostrar el funcionamiento del enfoque y su capacidad para generar requisitos de seguridad pertinentes. La aplicación se centró en cinco vulnerabilidades críticas recientes (CVEs de MITRE), detallando cómo el método permite derivar contramedidas específicas a partir del análisis semiótico y el mapeo con patrones CAPEC.

### 5.1 Selección de Vulnerabilidades (CVE) y Patrones CAPEC

Primero, se identificaron cinco CVE recientes que afectan directamente a aplicaciones Spring Boot, las cuales cubren una gama de amenazas comunes en sistemas web. A cada CVE se le asoció el patrón CAPEC más relevante, según la taxonomía de MITRE, y se propuso una contramedida específica conforme al método propuesto. La Tabla 1 resume la selección:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 1. Mapeo de vulnerabilidades Spring Boot recientes con patrones CAPEC y contramedidas propuestas**

| CVE (año) | Descripción | Patrón CAPEC asociado | Contramedida propuesta |
|---|---|---|---|
| CVE-2025-22235 | Matcher inseguro "null/**" al usar EndpointRequest.to() con endpoints Actuator deshabilitados/no expuestos (posible bypass de protección). | CAPEC-115 (Authentication Bypass) | Evitar uso de EndpointRequest.to() sobre endpoints deshabilitados; exponer explícitamente endpoints; negar por defecto /null; pruebas de reglas de seguridad. [19] |
| CVE-2024-38827 | Desajustes por comparaciones case-insensitive pueden invalidar reglas de autorización en Spring Security. | CAPEC-115 (Authentication Bypass) | Asegurar comparaciones case-sensitive y libres de locale en rutas/roles; actualizar a versiones corregidas; pruebas de autorización. [20] |
| CVE-2024-38821 | Bypass de autorización de recursos estáticos en aplicaciones WebFlux bajo ciertas configuraciones. | CAPEC-115 (Authentication Bypass) | Fortalecer reglas de acceso a estáticos; validar filtros WebFlux; defensa en profundidad con pruebas E2E. [21] |
| CVE-2024-38816 | Path Traversal en frameworks funcionales al servir recursos, permitiendo acceder a rutas fuera del árbol previsto. | CAPEC-126 (Path Traversal) | Normalizar y validar rutas; restringir FileSystemResource; activar HTTP Firewall; listas blancas de ubicaciones. [22] |
| CVE-2024-38807 | Falsificación de firmas al verificar JARs anidados en spring-boot-loader/loader-classic bajo código de verificación personalizado. | CAPEC-473 (Signature Spoof) | Evitar verificadores ad-hoc; usar bibliotecas de verificación robusta; actualizar dependencias; validar cadenas de firma. [23] |

Cada uno de los cinco casos sintetizados en la Tabla 1 ejemplifica una desviación maliciosa que el método identifica en la Fase 2 al contrastar acciones connotativas contra patrones CAPEC, y para la cual deriva contramedidas específicas en la Fase 3. En particular, CVE-2024-38816 se corresponde con CAPEC-126 [25] (Path Traversal): la inspección semiótica de acciones sobre recursos revela intentos de acceder a rutas fuera del árbol permitido; como respuesta, el método establece la normalización y validación estricta de rutas, listas blancas de ubicaciones y restricciones de sistema de archivos. CVE-2024-38807 mapea a CAPEC-473 [26] (Signature Spoof): el análisis evidencia riesgos de verificación criptográfica insuficiente en artefactos anidados, por lo que se exige verificación de firmas con bibliotecas robustas, validación de cadenas de confianza y eliminación de verificadores ad-hoc. CVE-2024-38821 y CVE-2024-38827 materializan CAPEC-115 [24] (Authentication/Authorization Bypass) en aplicaciones WebFlux y en comparaciones con sensibilidad de mayúsculas/minúsculas: el método impone políticas deny-by-default, reglas de autorización explícitas y comparaciones case-sensitive independientes del locale, junto con pruebas de autorización de extremo a extremo. Finalmente, CVE-2025-22235 también se alinea con CAPEC-115 [24] al evidenciar un desvío por configuración de seguridad en Actuator; la mitigación prescribe evitar EndpointRequest.to() sobre endpoints no expuestos, pro-teger explícitamente rutas como "/null" y actualizar a versiones corregidas. Estos ejemplos muestran el rol operativo de CAPEC para trazar CVE → patrón → control, manteniendo una correspondencia específica (CAPEC-115 [24]/-126/-473) y contramedidas alineadas con buenas prácticas reconocidas y documentación oficial [19–23].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 5.2 Implementación y Aplicación del Método Propuesto

Para llevar a la práctica el método en este estudio de caso, se desarrolló un prototipo de microservicio autónomo basado en Spring Boot WebFlux que implementa las fases clave del enfoque (especialmente las fases 2, 3 y 4). La Figura 2 ilustra la arquitectura propuesta del microservicio y el flujo principal de datos durante el análisis de una interacción sospechosa.

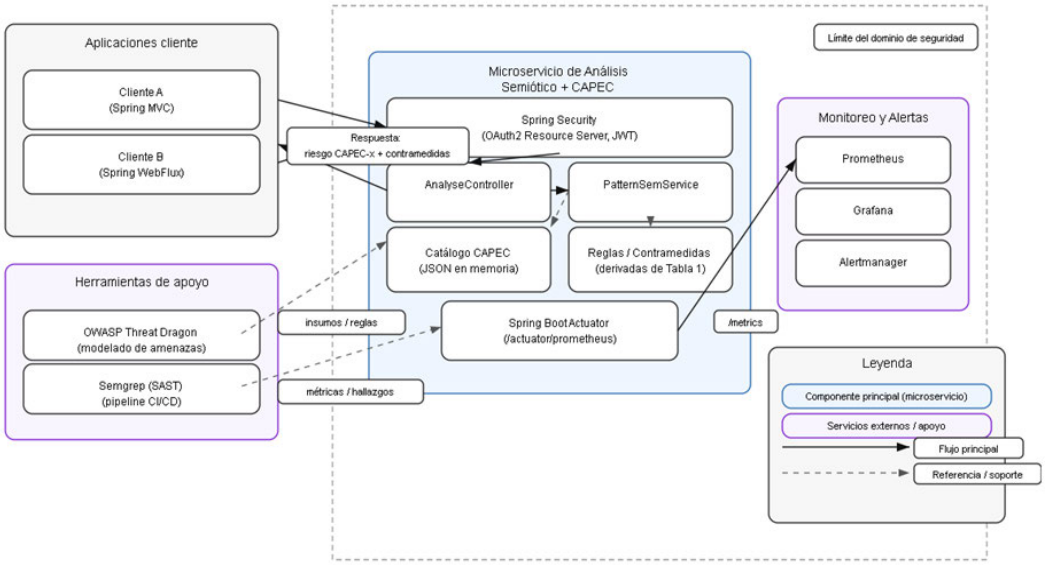



**Figura 2. Arquitectura del microservicio propuesto para la aplicación del método de análisis semiótico-CAPEC**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Finalmente, como parte de la fase 4 del método (refinamiento continuo), el microservicio fue integrado con herramientas de monitoreo: las métricas expuestas en /actuator/prometheus fueron recolectadas mediante Prometheus y visualizadas en paneles Grafana durante las pruebas. Se añadieron alertas específicas para picos de detecciones CAPEC-115 [24], eventos que apunten a rutas "/null/**" (CVE-2025-22235) y traversal reiterado (CVE-2024-38816) [19], [22]. Asimismo, se configuraron alertas para aumentos anómalos en CAPEC-126 [25] y CAPEC-473 [26] cuando corresponda, a fin de desencadenar respuestas automáticas adicionales o investigaciones forenses. En las pruebas, se observó que las métricas de conteo de análisis incrementaban según lo esperado al someter acciones sospechosas, y los paneles de Grafana reflejaron picos correlacionados con los ataques simulados, corroborando la utilidad del monitoreo activo. Esto muestra la viabilidad de la propuesta en un entorno Spring Boot, ofreciendo una defensa proactiva conforme a CAPEC-115/126/473 y facilitando su mantenimiento y evolución mediante retroalimentación continua.

En pruebas de concepto realizadas, el prototipo identificó correctamente ataques simulados. Por ejemplo, ante una petición de análisis con la acción "serveStaticResource" enviada al endpoint /analyse (luego de obtener y proveer un token JWT válido), el sistema detectó riesgo CAPEC-126 [25] (path traversal) y respondió con una recomendación JSON indicando normalización/validación estricta de rutas, listas blancas de ubicaciones y restricción de directorios. Esta respuesta confirma que el sistema reconoció la acción como coincidente con el patrón CAPEC-126 [25] y sugirió la contramedida asociada previamente definida. Asimismo, ante solicitudes a recursos estáticos protegidos en WebFlux, el motor identificó riesgos CAPEC-115 [24] coherentes con CVE-2024-38821, bloqueando accesos no autorizados y registrando el incidente para auditoría [22], [21].

Internamente, el prototipo se compone de módulos que reflejan las partes del método: una clase de dominio CapecPattern (que define la estructura de un patrón CAPEC con campos como identificador, nombre, palabras clave asociadas y mitigación sugerida); un cargador de patrones (CapecLoader) que, al iniciar el servicio, lee un archivo JSON con los detalles de los patrones seleccionados (por ejemplo, un capec_top5.json preparado con los cinco casos de la Tabla 1); el servicio de análisis (PatternSemService), que contiene la lógica para hacer match entre la acción recibida y los patrones (buscando las palabras clave indicativas de cada ataque de forma case-insensitive y considerando el contexto); y un controlador REST (AnalyseController) que expone la API POST /analyse y gestiona el flujo descrito anteriormente. Adicionalmente, la configuración del microservicio (en application.yml) especifica detalles como el puerto de despliegue, la activación del modo reactivo WebFlux y la habilitación del Actuator para métricas de monitoreo.

En términos generales, el microservicio expone un endpoint REST (/analyse) protegido mediante OAuth2 (modo Resource Server con JWT), de modo que solo agentes autorizados puedan invocar el análisis. Al recibirse una solicitud de análisis, el sistema realiza los pasos siguientes: (1) Validación JWT – Spring Security verifica la firma y validez del token JWT de autenticación, garantizando que la petición proviene de un cliente legítimo con permisos; (2) Normalización y búsqueda de patrones – el controlador REST (AnalyseController) delega la acción a un servicio (PatternSemService), el cual normaliza la entrada (por ejemplo, la convierte a minúsculas y elimina caracteres especiales) y luego busca coincidencias entre la acción proporcionada y las palabras clave definidas en el catálogo de patrones CAPEC cargado en memoria; (3) Identificación de amenaza – si la acción analizada coincide con algún patrón (por ejemplo, contiene parámetros o secuencias que corresponden a un ataque conocido), el servicio retorna un identificador de riesgo que indica el código CAPEC correspondiente y una breve descripción de la amenaza; (4) Recomendación de contramedida – junto con la identificación del patrón, el sistema proporciona la contramedida recomendada asociada (derivada previamente, como en la Tabla 1); y por último, (5) Registro y monitoreo – todos los análisis quedan registrados y el microservicio expone métricas operativas (cantidad de acciones analizadas, tiempos de respuesta, conteo de detecciones por tipo de amenaza, etc.) a través de un endpoint /actuator/prometheus para su integración con herramientas de monitoreo continuo (p. ej., Prometheus/Grafana).

La implementación demostrativa del método en un entorno Spring Boot muestra su viabilidad: el sistema es capaz de anticipar y mitigar las cinco vulnerabilidades objetivo mediante la aplicación de contramedidas específicas antes de que los ataques se concreten. Si bien este estudio de caso no constituye una validación exhaustiva, los resultados fueron alentadores. Se pudo comprobar que las recomendaciones derivadas del análisis semiótico guiado por CAPEC coinciden con soluciones conocidas (muchas presentes en OWASP u otras guías), pero el valor agregado es que dichas recomendaciones surgieron de manera sistemática a partir de la metodología propuesta y se integraron de forma dinámica en un flujo de trabajo de desarrollo/seguridad. Esto sugiere que el método puede contribuir a elevar el nivel de seguridad en proyectos web desde su concepción, con un overhead moderado y aprovechando fuentes de conocimiento existentes (patrones de ataque).

Integración en aplicaciones Spring Boot: Cabe mencionar que el enfoque desarrollado puede ser integrado en cualquier aplicación Spring Boot de manera relativamente sencilla. El microservicio de análisis actuando como motor de patrones puede desplegarse de forma independiente (por ejemplo, como un contenedor Docker o un servicio interno), y las aplicaciones cliente solo necesitan consumir su API para analizar interacciones sospechosas. Esto permite una adopción flexible de la metodología sin acoplarse excesivamente a la lógica de negocio de cada aplicación. En nuestro estudio de caso, ambos clientes de prueba (MVC y WebFlux) consultaban al servicio de patrones antes de proceder con determinadas acciones de usuario, demostrando

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



una forma de incorporar la capa semiótico-CAPEC en un entorno de microservicios.

## 6. Conclusiones

### 6.1 Síntesis de aportes

Este trabajo presentó una metodología proactiva para la ingeniería de requisitos de seguridad en aplicaciones web, integrando de forma sistemática el análisis semiótico de interacciones con patrones de ataque CAPEC documentados. La principal contribución radica en reforzar la fase de identificación de amenazas del enfoque semiótico tradicional mediante la incorporación de un catálogo formal de ataques conocidos. Esto permitió transformar un proceso antes dependiente de la pericia subjetiva del analista, en uno más objetivo y reproducible, apoyado en taxonomías ampliamente aceptadas por la comunidad de seguridad.

La aplicación del método en un estudio de caso representativo del entorno Spring Boot mostró resultados alentadores. Se logró anticipar vulnerabilidades críticas (como CSRF, XSS, inyecciones de código y otras) En particular, la incorporación explícita de CAPEC-115 [24], CAPEC-126 [25] y CAPEC-473 [26] en el análisis semiótico robustece la fase de identificación de amenazas y favorece la reproducibilidad del método en entornos Spring Boot [19– 23], desde la etapa de requisitos, derivando contramedidas específicas para cada amenaza identificada. Si bien no se trata de una validación definitiva de la propuesta, la experiencia desarrollada sugiere que la metodología es factible de implementar y que sus recomendaciones concuerdan con las mejores prácticas de seguridad existentes. En particular, la capacidad de mapear escenarios de uso con patrones de ataque conocidos facilitó la generación de requisitos de seguridad concretos que, de otro modo, podrían pasarse por alto en enfoques tradicionales.

Entre las ventajas de la propuesta se encuentran: (a) la posibilidad de anticipar vulnerabilidades en fases tempranas del ciclo de vida, evitando costosas correcciones posteriores; (b) la incorporación de una capa interpretativa semiótica, que enriquece el análisis de requisitos al considerar la intención potencialmente maliciosa detrás de las acciones de los usuarios; y (c) el alineamiento de los requisitos de seguridad derivados con taxonomías estándar (CAPEC, OWASP), lo que favorece la trazabilidad y la comunicación con otros profesionales de seguridad. Asimismo, la fase de refinamiento continuo asegura que el sistema pueda adaptarse a nuevas amenazas o cambios de contexto, proporcionando resiliencia a largo plazo.

En el contexto de marcos consolidados de modelado de amenazas, este trabajo se posiciona como complemento y no reemplazo. STRIDE [33] estructura categorías de amenazas y ATT&CK [34] detalla tácticas y técnicas adversarias; sobre esa base, el método semiótico añade una capa de análisis de la intencionalidad en las interacciones usuario-sistema, lo que habilita la identificación de desviaciones maliciosas en etapas tempranas de la ingeniería de requisitos. Así, funciona como etapa previa o capa de enriquecimiento del modelado tradicional, al traducir comportamientos ambiguos en vectores de ataque concretos mapeados a CAPEC [4], [24 - 26], desde los cuales se derivan requisitos de seguridad específicos y trazables. La novedad es integrativa e incremental: no introduce un formalismo alternativo, sino que articula análisis semiótico y CAPEC dentro de prácticas habituales de modelado de amenazas para mejorar repetibilidad y cobertura. Además, sus salidas pueden alimentar prácticas de madurez en marcos como OWASP SAMM [35].

No obstante, también se identifican desafíos y limitaciones. Uno de ellos es la curva de aprendizaje asociada al enfoque semiótico: los ingenieros de requisitos y desarrolladores deben familiarizarse con la interpretación de interacciones como signos y con el catálogo CAPEC, lo cual puede requerir capacitación adicional. Otra limitación es la dependencia de fuentes externas de conocimiento (por ejemplo, la necesidad de mantener actualizado el repositorio CAPEC y las referencias a vulnerabilidades recientes); si estos recursos no se actualizan o no se adaptan al dominio específico del sistema, el análisis podría omitir amenazas emergentes. Además, la integración del método podría añadir cierta sobrecarga en entornos con altísima concurrencia, especialmente durante el monitoreo activo (fase 4), por lo que será necesario evaluar el desempeño y optimizar la implementación para entornos de producción.

### 6.2 Trabajos futuros

Como trabajo futuro, se profundizará la evaluación empírica de la metodología en proyectos reales de mayor escala y en distintos dominios (por ejemplo, sistemas IoT, aplicaciones móviles híbridas y servicios cloud nativos). El objetivo es medir no sólo la capacidad de detección temprana de vulnerabilidades sino también su impacto en el ciclo de vida: tiempo hasta la mitigación, tasa de falsos positivos/negativos, cobertura de amenazas por familia CAPEC y esfuerzo de ingeniería requerido para adoptar los controles. Se diseñarán estudios de caso con partners industriales y ensayos cuasi-experimentales que comparen equipos que aplican el método frente a equipos que siguen prácticas tradicionales, registrando métricas comparables y analizando la validez estadística de los resultados.

En paralelo, se proyecta ampliar el catálogo de patrones de ataque incorporado en el prototipo, manteniendo la coherencia con el enfoque actual. Además de los patrones ya empleados, se explorarán nuevas entradas de CAPEC relevantes para el ecosistema objetivo y se establecerán reglas de selección para evitar dispersión analítica. Esta ampliación se integrará con CWE (Common Weakness Enumeration) a fin de construir un puente CVE→CWE→CAPEC que permita vincular requisitos de diseño con debilidades concretas y, a su vez, con vulnerabilidades observadas. La trazabilidad resultante facilitará priorizar mitigaciones en función del riesgo y justificar decisiones de diseño ante auditorías.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Otra línea de trabajo se orienta al desarrollo de herramientas de apoyo que automaticen el mapeo semiótico→CAPEC. Se prevé implementar extensiones para OWASP Threat Dragon y conectores para plataformas de modelado de amenazas, de modo que los analistas puedan importar escenarios, ejecutar el reconocimiento de signos connotativos y recibir sugerencias de patrones y contramedidas. Asimismo, se evaluará la integración con CI/CD para generar comprobaciones automatizadas (por ejemplo, pruebas de rutas maliciosas asociadas a CAPEC-126, validaciones de políticas de autorización para CAPEC-115 y verificaciones criptográficas para CAPEC-473), de manera que los controles se verifiquen en cada "build" y no solo en revisiones manuales.

Desde la perspectiva del modelo semiótico, se profundizará la formalización del vocabulario de signos y contextos de uso, incluyendo ontologías ligeras y taxonomías de dominio que hagan explícitas las relaciones entre acciones de usuario, recursos del sistema y supuestos de seguridad. Se investigará la extracción asistida por "logging" estructurado y trazas de observabilidad para alimentar el análisis con datos operacionales, manteniendo salvaguardas de privacidad. También se explorará el uso prudente de técnicas de aprendizaje automático para ayudar a identificar patrones de desviación; no obstante, su adopción quedará condicionada a evaluaciones de interpretabilidad y a controles rigurosos de "drift" y sobreajuste.

Asimismo, se consolidará el componente de monitoreo y retroalimentación continua. Se definirán paneles estandarizados de métricas y alertas para cada familia de patrón, con umbrales adaptativos basados en comportamiento histórico. Las señales clave incluirán picos de detecciones CAPEC-115 en rutas sensibles, intentos reiterados de "traversal" característicos de CAPEC-126 y anomalías en la verificación de firmas propias de CAPEC-473. El objetivo es alinear la operación diaria con los requisitos derivados, cerrar el ciclo CVE→CAPEC→control→métrica y activar respuestas automáticas graduadas (endurecimiento temporal de políticas, "rate-limiting" selectivo o "feature flags" de seguridad).

La generalización del enfoque será evaluada en marcos y arquitecturas distintos de Spring Boot, incluyendo "microservices" con puertas de enlace API, "serverless" y entornos contenedorizados. Se analizará cómo varían las premisas del modelo en configuraciones multi-tenant, en despliegues "edge" y en pipelines de datos, y qué ajustes requiere la gramática de amenazas para preservar su utilidad. Se propondrán plantillas de requisitos y guías de implementación que faciliten la transferencia a equipos con diferentes niveles de madurez en seguridad.

Por último, se abordarán de forma sistemática las amenazas a la validez y a la reproducibilidad del enfoque. Para la validez interna y de constructo, se diseñarán protocolos de revisión cruzada con "checklists" de codificación, cálculos de acuerdo inter-evaluador y análisis de sensibilidad frente a decisiones de modelado (por ejemplo, criterios de "matching" semiótico o umbrales de detección). Para la validez externa, se buscará diversidad de dominios (finanzas, salud, educación), tamaños de organización y perfiles de riesgo, con el fin de estimar la transferibilidad de resultados. En cuanto a la reproducibilidad, se publicarán "artifacts" de replicación —catálogos CAPEC curados, reglas de diseño y autorización, suites de pruebas CI/CD, datasets de trazas anonimizadas y paneles de monitoreo— acompañados de metadatos completos (versiones de frameworks, configuraciones de seguridad y cortes temporales de CAPEC/CWE). Este programa permitirá consolidar el método como práctica industrial verificable, medible y extensible, sin sacrificar claridad conceptual ni rigor técnico.

## Referencias

[1] Ö. Aslan, S. S. Aktuğ, M. Ozkan-Okay, A. A. Yilmaz y E. Akin, "A comprehensive review of cyber security vulnerabilities, threats, attacks, and solutions, " Electronics, vol. 12, no. 6, p. 1333, 2023.
[2] S. Barnum y A. Sethi, "Attack patterns as a knowledge resource for building secure software, " en OMG Software Assurance Workshop, Cigital, pp. 1 – 31, 2007.
[3] C. Blackwell, "A Strategy for Structuring and Formalising Attack Patterns, " en Cyberpatterns: Unifying Design Patterns with Security and Attack Patterns, Cham: Springer International Publishing, pp. 111 – 123, 2014.
[4] MITRE Corporation, "CAPEC-62: Cross-Site Request Forgery (CSRF), " Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC), 2023. [En línea]. Disponible en: https://capec.mitre.org/data/definitions/62.html
[5] A. Chechet, M. Chernykh, I. Panasiuk y I. Abdullin, "Front-end security architecture: protection of user data and privacy, " Вісник Тернопільського національного технічного університету, vol. 115, no. 3, pp. 5 – 16, 2024.
[6] C. Daah, A. Qureshi, I. Awan y S. Konur, "Enhancing zero trust models in the financial industry through blockchain integration: A proposed framework, " Electronics, vol. 13, no. 5, p. 865, 2024.
[7] OWASP, "OWASP CSRFGuard, " GitHub, 2024. [En línea]. Disponible en: https://github.com/OWASP/www-project-csrfguard
[8] J. A. Hurtado et al., "Semiotics: An Approach to Model Security Scenarios for IoT-Based Agriculture Software," TecnoLógicas, vol. 27, no. 59, e2923, Apr. 2024, doi: 10.22430/22565337.2923.
[9] X. Likaj, S. Khodayari y G. Pellegrino, "Where we stand (or fall): An analysis of CSRF defenses in web frameworks, " en Proc. 24th Int. Symp. on Research in Attacks, Intrusions and Defenses (RAID), pp. 370 – 385, Oct. 2021.
[10] Y. Li y Q. Liu, "A comprehensive review study of cyber-attacks and cyber security: Emerging trends and recent developments," Energy Reports, vol. 7, pp. 8176 – 8186, 2021.
[11] OWASP Foundation, "Cross-Site Request Forgery (CSRF) " 2023. [En línea]. Disponible en: https://owasp.org/www-community/attacks/csrf
[12] A. Kumar y I. Sharma, "Performance evaluation of machine learning techniques for detecting cross-site scripting attacks, " en 2023 11th Int. Conf. on Emerging Trends in Engineering & Technology (ICETET-SIP), IEEE, Apr. 2023.
[13] E. O. Oshoiribhor y A. M. John-Otumu, "XSS Net: An intelligent machine learning model for detecting cross site scripting attacks in web applications, " Machine Learning Research, vol. 10,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



no. 1, pp. 14 – 24, 2025.
[14] J. Durai et al., “Securing web applications against XSS and SQLi attacks using hybrid deep learning networks, ” Scientific Reports, 2023.
[15] C. Disanayake, S. Dilhara y N. Dharmaratna, “Rationalized security frameworks for web applications, ” en Proc. Annual Int. Conf. on Business Innovation (ICOBI), Nov. 2023.
[16] M. Nawrocki y J. Kołodziej, “Vulnerabilities of web applications: Good practices and new trends, ” ACIG Journal, vol. 3, no. 2, 2024.
[17] M. Shahid, “Machine learning for detection and mitigation of web vulnerabilities and web attacks, ” arXiv preprint arXiv:2304.14451, Apr. 2023.
[18] N. Kshetri, D. Kumar, J. Hutson, N. Kaur y O. F. Osama, “algoXSSF: Detection and analysis of CSRF and XSS via machine learning, ” arXiv preprint arXiv:2402.01012, Feb. 2024.
[19] Spring Team, “CVE-2025-22235: EndpointRequest.to() creates a matcher for null/**, ” Spring Security Advisories, Apr. 24, 2025. [En línea]. Disponible en: https://spring.io/security/cve-2025-22235
[20] Spring Team, “CVE-2024-38827: Authorization Bypass for Case Sensitive Comparisons, ” Spring Security Advisories, Nov. 19, 2024. [En línea]. Disponible en: https://spring.io/security/cve-2024-38827
[21] Spring Team, “CVE-2024-38821: Authorization Bypass of Static Resources in WebFlux Applications, ” Spring Security Advisories, Oct. 22, 2024. [En línea]. Disponible en: https://spring.io/security/cve-2024-38821
[22] Spring Team, “CVE-2024-38816: Path traversal vulnerability in functional web frameworks, ” Spring Security Advisories, Sep. 12, 2024. [En línea]. Disponible en: https://spring.io/security/cve-2024-38816
[23] Spring Team, “CVE-2024-38807: Signature Forgery in Spring Boot Loader, ” Spring Security Advisories, Aug. 23, 2024. [En línea]. Disponible en: https://spring.io/security/cve-2024-38807
[24] MITRE Corporation, “CAPEC-115: Authentication Bypass,” Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC), 2023. [En línea]. Disponible en: https://capec.mitre.org/data/definitions/115.html
[25] MITRE Corporation, “CAPEC-126: Path Traversal,” Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC), 2023. [En línea]. Disponible en: https://capec.mitre.org/data/definitions/126.html
[26] MITRE Corporation, “CAPEC-473: Signature Spoof,” Common Attack Pattern Enumeration and Classification (CAPEC), 2023. [En línea]. Disponible en: https://capec.mitre.org/data/definitions/473.html
[27] T. Preston-Werner, “Public Key Security Vulnerability and Mitigation,” The GitHub Blog, Mar. 4, 2012. [En línea]. Disponible en: https://github.blog/news-insights/public-key-security-vulnerability-and-mitigation/.
[28] D. Corradini, M. Pasqua y M. Ceccato, “Automated Black-box Testing of Mass Assignment Vulnerabilities in RESTful APIs,” en Proc. 45th Int. Conf. on Software Engineering (ICSE ’23), 2023, pp. 2553–2564. doi: 10.1109/ICSE48619.2023.00213.
[29] A. Mazidi, D. Corradini y M. Ghafari, “Mining REST APIs for Potential Mass Assignment Vulnerabilities,” en Proc. 28th Int. Conf. on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE ’24), Salerno, Italy, Jun. 18–21, 2024. ACM. doi: 10.1145/3661167.3661204.
[30] MITRE Corporation, “CWE-915: Improperly Controlled Modification of Dynamically-Determined Object Attributes,” Common Weakness Enumeration (CWE). [En línea]. Disponible en: https://cwe.mitre.org/data/definitions/915.html.
[31] OWASP Foundation, “Mass Assignment – OWASP Cheat Sheet Series.” [En línea]. Disponible en: https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/Mass_Assignment_Cheat_Sheet.html.
[32] OWASP Foundation, “Testing for Mass Assignment – Web Security Testing Guide (WSTG),” OWASP WSTG – Latest. [En línea]. Disponible en: https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/latest/4-Web_Application_Security_Testing/07-Input_Validation_Testing/20-Testing_for_Mass_Assignment
[33] P. Das, M. R. A. Asif, S. Jahan, K. Ahmed, F. M. Bui y R. Khondoker, “STRIDE-based cybersecurity threat modeling, risk assessment and treatment of an in-vehicle infotainment system,” Vehicles, vol. 6, no. 3, pp. 1140–1163, 2024, doi: 10.3390/vehicles6030054. MDPI
[34] Y. Jiang, Q. Meng, F. Shang, N. Oo, L. T. H. Minh, H. W. Lim y B. Sikdar, “MITRE ATT&CK Applications in Cybersecurity and The Way Forward,” arXiv preprint arXiv:2502.10825, 2025. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2502.10825 arXiv
[35] OWASP Foundation, “Software Assurance Maturity Model (SAMM),” 2024. [En línea]. Disponible en: https://owasp.org/www-project-samm

.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Análisis preliminar de herramientas para Vibecoding aplicadas al desarrollo de software

*Esteban Carnuccio, Mariano Volker, Carlos Tomalino, Matías Adagio, Dario Hirschfeldt, Andrea Vera*
*Universidad Nacional de La Matanza*
*Buenos Aires, Argentina*
*{ecarnuccio, mvolker, ctomalino, matadagio, dhirschfeldt, avera} @unlam.edu.ar*

## Resumen

*En los últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) generativa se consolidó como una herramienta clave en el desarrollo de software, al permitir la creación automática de código a partir de descripciones en lenguaje natural. En este contexto, surge el concepto de Vibecoding, introducido por Andrej Karpathy en 2025, que plantea un cambio de paradigma, ya que consiste en delegar la implementación técnica a modelos de lenguaje avanzados (LLMs) mediante instrucciones conversacionales. Este enfoque, parece ser beneficioso, pero presenta desafíos relacionados con la calidad del software, la mantenibilidad y la dependencia tecnológica. Por ese motivo, en el presente trabajo se realizó un análisis preliminar de diversas herramientas de Vibecoding (ChatGPT, Gemini, GitHub Copilot, Cursor, Windsurf y Workik) aplicadas en tres escenarios: desarrollo de aplicaciones móviles en Android Studio (Java/Kotli), programación embebida con ESP32 empleando FreeRTOS, y programación concurrente en Python. Para ello, se utilizó un prompt técnico estructurado que permitió estandarizar consignas y evaluar la capacidad de cada herramienta para generar soluciones funcionales. Los resultados iniciales evidencian que todas las herramientas logran producir código operativo tras varias iteraciones, aunque con diferencias en estabilidad, completitud y compatibilidad. Estos hallazgos establecen la base para una siguiente fase de investigación orientada a medir métricas de rendimiento, exactitud y mantenibilidad en contextos educativos universitarios.*

## 1. Introducción

En los últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) ha irrumpido como una de las tecnologías más disruptivas de la sociedad contemporánea. Su impacto se ha hecho evidente en múltiples áreas de aplicación: desde la generación y edición automática de videos, los traductores en tiempo real, los sistemas de soporte en call centers, hasta el reconocimiento y creación de imágenes, así como los asistentes virtuales que funcionan como intermediarios en la interacción diaria entre humanos y sistemas informáticos[1]. Un ejemplo de ello es el auge de los asistentes virtuales tales como Siri, Alexa y Google Asistance. Asi como también las funciones que ofrece Chatgpt para interactuar a través de audio, voz y video con la IA [2].

Estos avances han permitido optimizar procesos, disminuir costos y facilitar el acceso a herramientas tecnológicas, lo que ha llevado a que la IA sea considerada por muchos como un complemento indispensable en la vida cotidiana y profesional. A tal punto, que se ha llegado a replantear la forma en que se piensa el trabajo y la creatividad en el ser humano.

No obstante, junto con sus beneficios, la IA ha generado una revolución y también temor en la sociedad. Esto se debe a que se estima que, en un futuro, diversos empleos —principalmente los repetitivos y rutinarios— podrían llegar a ser reemplazados por herramientas de IA, como oficinistas, administradores, contadores, agentes de viajes, traductores, diseñadores gráficos u operadores de call center, entre otros[3][4]. Sin embargo, existen ciertas áreas laborales que deberán adaptarse a la nueva tecnología para poder sobrevivir con el paso del tiempo [5]. En este sentido, la IA ha planteado una profunda problemática en el ámbito de la programación y el desarrollo de software. Actualmente, las herramientas basadas en modelos generativos permiten producir fragmentos de código de manera automática, lo que suscita interrogantes sobre la calidad del software resultante, la verificabilidad de los programas y la seguridad de los sistemas [6] Este panorama ha despertado temores generalizados respecto a la pérdida de empleos, en especial en profesiones de alta calificación como la de los programadores. Diversos informes sostienen que la IA no solo amenaza tareas rutinarias, sino también actividades cognitivas complejas que antes eran exclusivas de los humanos[7][8].

En este contexto, la problemática trasciende lo meramente laboral y técnico, tocando también dimensiones cognitivas y sociales. El ser humano enfrenta limitaciones naturales en su sistema neuronal, mientras que la IA avanza hacia procesos de aprendizaje cada vez más sofisticados y acelerados. Las investigaciones llevadas a cabo por Kosmyna [9], revelaron diferencias en la actividad cerebral al programar con y sin IA, observando que el uso de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



asistentes inteligentes disminuye la conectividad neuronal y la capacidad de memoria de trabajo, generando lo que los autores denominan una *"deuda cognitiva"*. Estos hallazgos se alinean con preocupaciones sobre la calidad del software y la pérdida de habilidades críticas en los programadores humano.

Si bien algunos sostienen que la IA debe utilizarse como una herramienta de apoyo que potencia las capacidades humanas, el ritmo acelerado de su desarrollo refuerza la percepción de vulnerabilidad laboral. En el ámbito de la programación, particularmente, el rol del desarrollador está transitando de ser creador de código a convertirse en un *"validador"* o "*chequeador*" del código que produce la IA, lo que redefine las competencias profesionales demandadas en la industria.

### 1.1 El término Vibecoding

En este contexto surge el concepto de Vibecoding, creado por Andrej Karpathy en febrero de 2025, el cual propone un cambio de paradigma en el desarrollo de software, lo que él denominó como programar *"siguiendo las vibras"*, es decir, describiendo en lenguaje natural lo que debe realizar un programa de software y delegando la implementación técnica a modelos de lenguaje avanzados (LLMs) .De esta forma, la IA generará el código del programa solicitado por el usuario[10].

El enfoque de Vibecoding busca permitirle el acceso a cualquier individuo para que pueda programar, permitiendo que tanto expertos como no expertos puedan generar aplicaciones funcionales mediante simples descripciones conversacionales. Herramientas como Cursor Composer han comenzado a materializar este paradigma.

Sin embargo, Vibecoding introduce nuevos desafíos, en la calidad del código generado, la presencia de vulnerabilidades de seguridad, la dependencia tecnológica y la potencial degradación de las habilidades tradicionales de programación.

En este sentido, los prompts, definidos como las instrucciones en lenguaje natural que el usuario proporciona a la IA, adquieren un rol importante. No basta con pedir código; es necesario formular de manera precisa, estructurada y contextualizada lo que se espera de la IA para obtener resultados útiles y confiables. Esto ha dado origen al denominado prompt engineering, que se prevé que sea como una habilidad clave para los programadores en el futuro [11].

En base a lo dicho anteriormente, el Vibecoding clasificarse según dos enfoques, que pueden llegar a ser complementarios.

- ***Vibecoding Total:*** Es cuando todo el programa se genera con IA a partir de un prompt muy detallado. En donde el papel del ser humano, se base en solo corregir y refinar.

- ***Vibecoding Parcial:*** Es cuando el programador desarrolla el código manualmente, pero utiliza la IA para generar funciones, clases o módulos específicos.

No obstante, el uso de estas herramientas plantea desafíos significativos en términos de calidad del software, ya que el código generado puede presentar problemas de mantenibilidad, coherencia y adecuación funcional. Estas dificultades requieren un análisis riguroso que combine la perspectiva técnica con la pedagógica, especialmente en contextos académicos donde se forman nuevos profesionales de la informática

Si bien existen estudios previos sobre Vibecoding, la mayoría se centró en un análisis teórico de las herramientas [10][12], sin reportar resultados prácticos en entornos académicos o productivos. No obstante, en [13] se realizó un mapeo sistemático, en donde los trabajos analizados efectuaron estudios que en la mayoría son orientados a métricas cualitativas. Sin embargo, algunos trabajos de los analizados incorporaron métricas cuantitativas, como consumo de recursos o tiempo de ejecución, pero estas evaluaciones resultaron ser limitadas y parciales. Ya que no contemplaban otras dimensiones igualmente relevantes, como la mantenibilidad o la exactitud funcional en el mismo estudio. Esta falta de cobertura integral condujo a análisis separados que dificultan establecer comparaciones objetivas y completas entre los enfoques de Vibecoding.

Por este motivo, el presente trabajo se diferencia al exponer resultados preliminares obtenidos a partir de pruebas iniciales con prompts técnicos en distintos lenguajes de programación, aplicados en herramientas orientadas a la generación de aplicaciones nativas en Android. Así como también en programas para sistemas embebidos y en aplicaciones de escritorio en Python. Si bien las métricas de exactitud funcional, mantenibilidad y uso de recursos aún no han sido implementadas, se proyecta su incorporación en una siguiente etapa, durante actividades prácticas con estudiantes universitarios en el área de IoT y programación concurrente. De este modo, el artículo no solo ofrece una validación inicial del uso de estas herramientas de IA en un contexto real, sino que también establece las bases metodológicas para un estudio comparativo más amplio que se desarrollará a lo largo del año.

## 2. Desarrollo

Hoy en día, hay muchas plataformas que facilitan esta forma de trabajo de forma genérica: ChatGPT con funciones de codificación, GitHub Copilot integrado a Visual Studio Code, Replit con su asistente Ghostwriter, y herramientas emergentes como Cursor o Builder.io, que permiten crear sitios web enteros a partir de descripciones en lenguaje natural. Algunas soluciones más avanzadas como LangChain incluso permiten construir sistemas conversacionales o apps con lógica compleja sin escribir todo el código desde cero.

No obstante, esta investigación se centra en herramientas que permitan generar programas en los lenguajes Python, específicamente orientados al desarrollo con programación concurrente.

Al mismo tiempo, se hace foco en herramientas de IA que permitan generar aplicaciones desarrolladas con el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Framwework Android Studio, con el objetivo de crear soluciones para smartphones y smartwatches que funcionen bajo el sistema operativo Android. En este sentido, se está trabajando con los lenguajes Java y Kotlin. Se opta por Android SDK en lugar de otras alternativas (como React Native, JavaScript, TypeScript, Flutter, entre otras), debido a que permite generar código nativo, lo que resulta en un funcionamiento más eficiente y un mejor aprovechamiento de los recursos del sistema operativo Android. En contraste, las soluciones multiplataforma mencionadas funcionan como una capa de abstracción adicional, lo cual puede impactar negativamente en el rendimiento.

Por otra parte, se planifica utilizar herramientas de Vibe Coding para la creación de aplicaciones embebidas utilizando placas de desarrollo ESP32. Para este caso, se empleará el framework de Arduino, a través de su lenguaje Wiring, descartando el uso del entorno ESP-IDF. Esta elección responde a la mayor practicidad del entorno Arduino para el desarrollo de proyectos de IoT en contextos educativos. Además, los programas creados para el ESP32 utilizan el sistema operativo de tiempo real FreeRTOS, lo cual permite desarrollar y contrastar aplicaciones embebidas que utilizan sistema operativo con aquellas que no lo requieren.

Por este motivo, se seleccionaron para analizar herramientas de VibeCoding que se ajusten a estos objetivos.

### 2.1 Herramientas de seleccionadas

Existe una clasificación implícita en las herramientas que realizan Vibecoding. Dado que se dividen según su forma de trabajo. Por ese motivo se pueden clasificar en herramientas que:

a) No generan proyectos completos
b) Generan proyectos completos

En las primeras mencionadas, son programas que generan código, a través de prompts, pero allí no generan los archivos de los proyectos en ese programa. Por lo que el usuario debe transcribir manualmente el código en su editor de código fuente. En cambio, el segundo grupo si lo realiza en forma automática, evitándole tener que realizar este trabajo por parte del usuario. En este sentido, las herramientas Vibecoding que fueron analizadas son las siguientes:

- ChatGPT
- Gemini
- GithubCopilot
- Cursor
- Windsurf
- Workik

### 2.2 Características de las herramientas seleccionadas

Entre las herramientas seleccionadas, , las que se centran en funcionalidades específicas son las siguientes :

Primeramente, se encuentra ChatGPT, desarrollado por OpenAI. Este usa modelos de lenguaje basado en la arquitectura GPT-5, GPT-4 y GPT-3.5. Dispone de versiones gratuitas y de pago. El plan gratuito permite el acceso a GPT-4.0, que ofrece generación de texto, explicación de código y soporte para múltiples lenguajes de programación. Pudiendo así ser utilizado para Vibecoding a través de lenguaje natural, aunque se limitado a ser de forma parcial, ya que en algunos casos no genera el código del proyecto completo [14]

Por otro lado, Gemini es la evolución de Bard, desarrollado por Google DeepMind. Su versión gratuita ofrece acceso a Gemini 2.5 Flash, optimizado para la velocidad y las consultas generales. No obstante, puede emplearse para Vibecoding de manera parcial. Un ejemplo de ello es su integración como complemento en el IDE de Android Studio, lo que permite al usuario acceder a la herramienta a través de un chat conversacional [15].

En cambio, GitHub Copilot, desarrollado en conjunto por GitHub y OpenAI, se centra en la asistencia directa dentro de entornos de desarrollo (Visual Studio Code, JetBrains, Neovim). Aunque su versión completa es de pago, ofrece una versión gratuita para estudiantes y proyectos open source. Una característica que ofrece Github Copilot es que sus modelos fueron entrenados a partir de una gran cantidad de código de GitHub. Entre los modelos disponibles de forma gratuita, se encuentran Azure OpenAI GPT-4.0, GPT-4.1, Gemini Flash 2.0 y Claude 3.5 Sonnet. Estos modelos están basados en Codex.[16]

Finalmente, Workik es una plataforma web que combina asistencia en la generación de código con herramientas de gestión de proyectos. En su versión gratuita permite trabajar, aunque de forma limitada, con varios modelos, entre ellos GPT-4 y GPT-5, Gemini Flash 2.5, Claude 3.5 y DeepSeek. Está orientada al trabajo colaborativo y ofrece funcionalidades como generación de código mediante vibecoding, visualización de bases de datos, refactorización de consultas asistida por IA y creación de datos ficticios. Además, permite agregar contextos al prompt [17].

En contraparte se seleccionaron las siguientes herramientas de Vibecoding que generan código de proyectos completos.

Por un lado, se encuentra Cursor, una herramienta creada por Anysphere que constituye esencialmente una adaptación de Visual Studio Code. Puede utilizarse como un IDE completo por el usuario, manteniendo compatibilidad con extensiones, atajos y configuraciones de VS Code. En su modalidad gratuita ofrece acceso limitado a modelos como GPT-4 y Claude 3.5 Sonnet, lo que permite probar funcionalidades básicas de Vibecoding. Entre sus características principales se destacan la posibilidad de importar proyectos externos completos, integrar documentación o sitios web dentro del prompt para enriquecer el contexto, y el enlazamiento con repositorios Git. Una particularidad de Cursor es que permite crear y gestionar proyectos enteramente desde su consola de chat, generando estructuras completas de código a partir de prompts, lo que facilita un flujo de trabajo centrado en la interacción con la IA. Además permite corregir el código

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



del proyecto creado por la IA, realizando refinamiento desde el prompt, sin la necesidad de copiar y pegar el código entre editor [18].

Windsurf es un entorno de desarrollo integrado independiente, que se desarrolló inspirado en VsCode. Por lo que su diseño es muy similar. No obstante, a diferencia de los editores convencionales, ha sido concebido como un entorno nativo en IA. En su versión gratuita permite trabajar de forma limitada con los modelos SWE-1, GPT-5 y Geminis Pro. Entre sus principales características se encuentra *Cascade*, que es un mecanismo que permite mantener la coherencia y el contexto del proyecto a través de múltiples archivos. Asimismo, al igual que Cursor, incorpora un sistema de interacción mediante lenguaje natural, de modo que el usuario puede solicitar generación, explicación o refactorización de código a través de prompts dentro del mismo entorno. Además, permite agregar contexto desde su barra de comandos a través del prompt, lo que permite decirle a la IA con que recursos debe trabajar [19]

### 2.3 Prompt técnico utilizado

En la literatura existen diferentes tipos de prompts para la generación de código [20], [21]. Estos se pueden clasificar según su forma de escritura, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1 Clasificación de tipos de prompts generales**

| Tipo de Prompt | Descripción | Ejemplo |
|---|---|---|
| **Zero-Shot Prompt** | Se da una instrucción directa sin ejemplos ni estructura adicional. | *"Escribe una función en Python que calcule si un número es primo."* |
| **Few-Shot Prompt** | Se incluyen ejemplos de entrada/salida para guiar la generación. | *"Entrada: 4 → Salida: 16. Entrada: 5 → Salida: 25. Ahora escribe código en Java que haga lo mismo."* |
| **Chain-of-Thought Prompt** | Se indica al modelo que genere su razonamiento paso a paso antes de dar la respuesta final, mejorando exactitud en tareas complejas. | *Resuelve este problema paso a paso y luego dame solo el código final en Python: determinar si un número n es primo* |
| **Prompt Pattern** | Son plantillas reutilizables para estructurar prompts que resuelven problemas comunes en contextos específicos | *"Quiero un programa en [lenguaje] que haga lo siguiente: [lista de requisitos]."* |
| **Lazy Prompting** | Se da solo información mínima (ej. un error o síntoma) y se deja que el modelo infiera lo necesario. | *"El error es NullPointerException en la línea 25. Corregilo."* |

A su vez, los Prompt Patterns pueden subdividirse en categorías más específicas, tal como se detalla en [22], Tabla 2.

**Tabla 2. subcategorías de Prompts Patterns**

| Categoría | Patrones incluidos |
|---|---|
| **Input Semantics** | Define un lenguaje o sintaxis personalizada para que el modelo comprenda mejor la entrada. *(Meta Language Creation)* |
| **Output Customization** | Moldean la forma, estilo o formato de salida. *(Output Automater, Persona, Visualization Generator, Recipe, Template)* |
| **Error Identification** | Ayudan a detectar, verificar o corregir errores en la respuesta generada *(Fact Check List, Reflection)* |
| **Prompt Improvement** | Refinan la pregunta, ofrecen alternativas, verifican razonamientos o manejan negativas. *(Question Refinement, Alternative Approaches, Cognitive Verifier, Refusal Breaker)* |
| **Interaction** | Promueven dinámicas interactivas con el modelo, como preguntas de seguimiento o generación continua *(Flipped Interaction, Game Play, Infinite Generation)* |
| **Context Control** | administra y entrega contextos extensos de manera efectiva. *(Context Manager)* |

Con base en estas clasificaciones, se diseñó un Prompt técnico que corresponde al tipo Prompt Patterns. En particular, este se enmarca en el subtipo Input Semantics, ya que define un lenguaje de requisitos estructurados que recuerda a una especificación formal. Dicho prompt constituye una variante del patrón Meta Language Creation, al establecer secciones fijas que reducen ambigüedades y favorecen la consistencia. Asimismo, incorpora elementos de Output Customization, al imponer restricciones y requisitos específicos sobre el tipo de salida esperada, lo que lo aproxima al patrón Template Pattern.

La plantilla del prompt técnico definido se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3 Plantilla de prompt técnico creado**

| |
|---|
| LENGUAJE DE PROGRAMACION: |
| PLATAFORMA: |
| FUNCIONALIDADES A IMPLEMENTAR: |
| REQUISITIOS ESPECIFICOS |
| RESTRICCIONES |

Como se puede observar, el prompt técnico se organiza en secciones estructuradas, siguiendo la lógica de una hoja de requisitos empleado en ingeniería de software. Este diseño busca garantizar claridad y reproducibilidad en la generación automática de código.

Un ejemplo de su uso puede ser el siguiente.

- **Lenguaje de Programación:**
  -Kotlin en Android Studio
- **Plataforma:**
  -Android
- **Funcionalidad a implementar:**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



-Desarrollar una aplicación que utilice sensores de un smartphone

- **Requisitos específicos:**
  -La aplicación debe tener una Activity principal.
  -Al detectar un shake se debe mostrar automáticamente una segunda activity
  -Cuando se abre la segunda activity se debe repoducir un sonido de una sirena

- **Restricción:**
  La duración máxima del sonido de la sirena no debe superar el minuto

Por este motivo, a continuación, se mostrarán las pruebas preliminares que se realizaron con el prompt confeccionado utilizando las diferentes herramientas seleccionadas. Estas actividades fueron realizadas en ESP32, Android Studio y Python bajo determinados enunciados.

La premisa de las pruebas consiste en desarrollar un sistema IoT en el que el dispositivo embebido se comunique vía MQTT con un smartphone Android, empleando exclusivamente Vibecoding a partir del prompt técnico definido. Para ello, el código generado mediante VibeCoding se dividió en dos etapas. La primera corresponde al programa a ejecutar en el ESP32, desarrollado con el Framework Arduino. Mientras que la segunda consistió en utilizar el prompt para crear una aplicación Android en Java mediante Android Studio.

Por otra parte, se realizaron pruebas del prompt técnico a través de ejercicios de programación concurrente en Python.

### 2.4 Actividades iniciales realizadas en ESP32

A los fines de realizar las pruebas en ESP32, se definieron estos requisitos.

*"Se solicita desarrollar un sistema embebido basado en ESP32 que aplique el concepto de Internet de las Cosas. El proyecto deberá integrar al menos dos sensores, uno de tipo analógico y otro digital, así como dos actuadores, siendo obligatorio que uno de ellos utilice modulación por ancho de pulso (PWM) y el otro pueda ser digital. El diseño del código debe implementarse a través de una máquina de estados que siga el patrón de switch anidados, es decir, un switch principal para cada estado y, dentro de cada estado, un switch adicional para gestionar los eventos. Dichos eventos únicamente podrán obtenerse dentro de la función get_event(), mientras que los cambios de estado deberán realizarse exclusivamente dentro de la estructura de la máquina de estados. La implementación deberá contemplar un mínimo de tres estados y generar registros (logs) que informen cada transición. Además, el código deberá estar documentado a nivel de funciones de manera descriptiva, incorporar el uso de temporizadores por hardware o software y emplear FreeRTOS para la gestión de tareas concurrentes que permitan la lectura de sensores y el accionamiento de los actuadores. Asimismo, el sistema deberá ser capaz de enviar datos de sensores a un bróker MQTT de forma periódica y recibir comandos desde dicho bróker que activen, preferentemente, un actuador dentro del dispositivo embebido. Finalmente, la lógica de comunicación MQTT también deberá implementarse respetando el patrón de máquina de estados."*

En base a ello, se definió el prompt técnico de la siguiente manera.

- **LENGUAJE DE PROGRAMACION**:
  - Utilizar lenguaje Wiring para el Ide Arduino
- **PLATAFORMA:**
  - Desarrollar un sistema embebido ESP32 que utilice el concepto de Internet de las Cosas.
- **FUNCIONALIDAD A IMPLEMENTAR:**
  - Desarrollar un sistema embebido que controle una casa inteligente que controle la temperatura ambiente
- **REQUISITOS ESPECIFICOS:**
  - se deben usar un sensor de temperatura analogico, dos pulsadores, un rele que controle un ventilador y un buzzer pasivo
  - El sistema debe tener dos modos de uso: uno manual y otro automatico
  - Si el sistema se encuentra en modo manual, al presionar el pulsador 1 se debe cambiar a modo automatico
  - Si el sistema se encuentra en modo automatico, al presionar el pulsador 1 se debe cambiar a modo manual
  - Cuando el sistema esta modo automatico, se debe encender el rele si la temperatura supera determinado umbral
  - Cuando el sistema esta modo automatico, se debe apagar el rele si la temperatura es menor a determinado umbral
  - Cuando el sistema esta modo manual, se debe encender el rele al presionar el pulsador 2
  - Cuando el sistema esta modo manual, se debe apagar el rele al presionar el pulsador 2.
  - Cada vez que se enciende el rele se debe reproducir una melodía usando el buzzer
  - Utilizar Tareas FreeRTOS para leer lossensores y activar actuadores
  - Utilizar temporizadores por hardware o software para reproducir la melodía en una tarea de FreeRTOS
  - Utilizar el concepto de máquina de estados en el diseño del código
  - La maquina de estados debe tener 3 estados como mínimo.
  - Usar Logs para informar los cambios de estados

- **RESTRICCIONES:**
  - La máquina de estados debe seguir el patron switch anidados, en donde exista un switch para cada estado y dentro de cada estado un switch para cada evento. Tal como se muestra en la figura anidada
  - Los eventos solo se deben obtener dentro de la función get_input()y solo se pueden cambiar de estados dentro de la switch de la maquina de estados.
  - Los sensores solamente se deben leer dentro de la función get_input y no debe haber sentencias if dentro de los switch de la maquina de estados

**Fig. 1 Prompt técnico utilizado en ESP32**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por lo tanto, los resultados obtenidos a partir de este prompt fueron variados.

**Resultados obtenidos en ChatGPT**

En la primera iteración se observó que no se seguía correctamente el patrón de máquina de estados, ya que los estados no se generaban dentro de la función get_event y, además, se incluían estructuras condicionales del tipo if dentro de los switches, lo cual contradecía el diseño solicitado. Por otro lado, el código inicial no aplicaba mecanismos de sincronización en las variables compartidas entre las distintas tareas, lo que obligó a refinar el prompt para que incorporara dicha funcionalidad. En la segunda iteración se detectó que la generación del código PWM utilizaba una versión de la biblioteca ledcWrite anterior a la 2.0, lo que resultaba incompatible con el simulador Wokwi; debido a que ChatGPT no lo corregía adecuadamente, fue necesario realizar la modificación manualmente. Asimismo, se requirió una nueva refinación porque el código no generaba la función loop(). Otro inconveniente se presentó con la tarea destinada a reproducir el buzzer, ya que se implementó de forma bloqueante en la tarea principal, lo que ocasionaba la detención completa del sistema al ejecutar la melodía, obligando nuevamente a refinar el código. Finalmente, tras varias iteraciones y correcciones, se logró obtener un sistema funcional, aunque sin respetar por completo el patrón de máquina de estados solicitado.

Luego se generó otro Prompt técnico para que se modifique el código pero que sea con soporte para comunicación mediante MQTT, aunque se observaron determinados retrasos tanto en el envío de datos hacia el bróker como en la recepción de los mismos, lo cual dificulta su utilización en condiciones normales de operación. Para la realización de las pruebas se empleó el bróker de EMQX

**Resultados obtenidos en GithubCopilot**

Al utilizar el prompt se observó que el sistema genera un código más performante que el obtenido inicialmente con ChatGPT, aunque todavía no resulta óptimo, ya que presenta estructuras bloqueantes y no respeta el patrón de máquina de estados solicitado, incluyendo condicionales if dentro de los case de la estructura switch. Si bien el código sin la integración de MQTT funciona correctamente en el simulador Wokwi, mantiene problemas de rendimiento y, al trasladarse al sistema físico, no opera de manera adecuada. Además, la generación del código continúa sin ser óptima en términos de eficiencia y estructura.

Luego, al implementar la comunicación mediante MQTT, aplicando un segundo prompt, el código fuente no funcionó de manera adecuada, ya que se presentaron diversos problemas en la interacción con el bróker. Tras múltiples refinamientos fue posible lograr un funcionamiento parcial, aunque aún persisten inconvenientes de conectividad que afectan la estabilidad del sistema.

**Resultados obtenidos en Cursor**

Se generó un código aceptable sin la integración de MQTT, el cual implementó correctamente el patrón de máquina de estados solicitado. Sin embargo, no se incluyeron mecanismos de sincronización entre las variables globales utilizadas por las diferentes tareas, lo que hizo necesario solicitarlos de manera explícita. Al incorporar la conexión con el bróker MQTT comenzaron a presentarse diversos problemas que afectaron el funcionamiento de componentes que previamente operaban de manera correcta, lo que obligó a realizar múltiples refinamientos para lograr que coexistieran de forma estable con la conectividad MQTT. Finalmente, si bien se consiguió que el sistema enviara y recibiera comandos mediante MQTT, fue necesario llevar a cabo refinaciones adicionales para que la funcionalidad resultara adecuada.

**Resultados obtenidos en Windsurf**

Al aplicar el prompt técnico sin MQTT, Windsurf generó un código que respetó el patrón de máquina de estados solicitado. En términos de desempeño, la generación de código resultó superior a la obtenida con otros LLM como Cursor y GitHub Copilot, ya que su implementación fue funcional desde el inicio. Al incorporar la conexión con el bróker MQTT, la calidad del código también fue superior a la lograda con Cursor, dado que funcionó correctamente desde el primer intento y solo requirió ajustes menores, mostrando además un mejor comportamiento general del sistema con conectividad MQTT. Para estas pruebas se utilizó el modelo SWE-1 (free limited time)

### 2.5 Actividades iniciales realizadas en Android Studio

Con el objetivo de realizar pruebas en Android Studio a través del prompt técnico, se desarrolló el siguiente enunciado.

*Se solicita desarrollar una aplicación en Android Studio que cuente con dos pantallas. La primera actividad deberá incluir dos botones y un cuadro de texto; al presionar el primer botón, la aplicación deberá publicar un mensaje en el tópico /casa/luz del bróker MQTT con la dirección test.mosquitto.org, mientras que, al mismo tiempo, tendrá que suscribirse al tópico /casa/cmd de manera que cada mensaje recibido desde dicho tópico se muestre en el cuadro de texto. Al presionar el segundo botón, la aplicación deberá abrir la segunda actividad. En esta segunda pantalla, el color de fondo deberá cambiar cada vez que se detecte una agitación (shake) del smartphone*

A partir de esto, se definió el prompt técnico de la siguiente manera.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **LENGUAJE DE PROGRAMACION:**
  - Utilizar Java
- **PLATAFORMA:**
  - Android
- **FUNCIONALIDAD A IMPLEMENTAR:**
  - Desarrollar un app con Android studio que posea dos pantallas
- **REQUISITOS ESPECIFICOS:**
  - La primer acivity debe poseer 2 botones y un textbox
    - Cuando se presione el botón 1 se debe publicar mensaje en el topico /casa/luz del bróker MQTTcon URL:test.mosquitto.org
    - Se debe realizar la suscripción al topico /casa/cmd y que cada vez que se reciba mensaje de ese topico se muestre en el textbo
    - Cuando se presione el botón 2 se debe abrir la segunda Activity
  - La segunda actvity deberá cambiar su color de fondo,cada vez que se detecte un shake(agitación del smarptohne)
- **RESTRICCIONES:**
  - Que la segunda pantalla vaya cambiando su fondo entre los colores rojo,negro,azul,verde y amarillo

**Fig. 2 Prompt técnico utilizado en Android**

Por lo tanto, los resultados obtenidos a partir de este prompt fueron diversos, los cuales se detallan a continuación.

**Resultados obtenidos en Cursor**

En este IDE fue necesario incorporar ejemplos de código y documentación asociada a la aplicación mediante la modificación del contexto desde el prompt. Al trabajar con Java, la aplicación se generó correctamente en pocas iteraciones, requiriendo únicamente algunas refinaciones vinculadas a incompatibilidades en las bibliotecas utilizadas. Sin embargo, esta dificultad se incrementó de manera significativa al desarrollar el proyecto en Kotlin, ya que la cantidad de ajustes necesarios fue considerablemente mayor.

**Resultados obtenidos en Windsurf**

Los resultados obtenidos con esta herramienta fueron superiores a los alcanzados con Cursor, dado que la IA generó un proyecto más óptimo, el cual solo requirió dos iteraciones para funcionar correctamente. No obstante, fue necesario enriquecer el prompt incorporando ejemplos y documentación asociada. Si bien Windsurf resulta más lento que Cursor en la generación de código, ofrece una mayor estabilidad, ya que produce soluciones de mejor calidad.

**Resultados obtenidos en GithubCopilot**

En el caso de GitHub Copilot, se empleó el plugin de Android Studio junto con los modelos GPT-4.1 y Claude Sonnet 3.5, aplicando el prompt previamente definido. A diferencia de otras herramientas, Copilot no genera el proyecto completo de forma automática, sino que produce fragmentos de código correspondientes a los distintos archivos, los cuales deben ser integrados manualmente en Android Studio. Si bien la herramienta facilita la creación de código, fue necesario realizar numerosas correcciones, principalmente por problemas de dependencias y errores de compilación. En consecuencia, el tiempo requerido para obtener un proyecto funcional resulta considerablemente mayor que el demandado por Cursor o Windsurf

**Resultados obtenidos en Workik**

Para Workik se utilizó el plugin disponible en Visual Studio Code, ya que la versión en línea no ofrecía un funcionamiento adecuado. En las pruebas se trabajó con el modelo GPT-4.1, creando un proyecto en Java, aunque la herramienta también admite Kotlin. Una vez ejecutado el prompt, Workik no generó la estructura completa del proyecto de forma automática, sino que proporcionó el código correspondiente a los archivos, los cuales debieron copiarse manualmente en Android Studio. Sin embargo, a diferencia de otras herramientas, el código obtenido resultó correcto en la primera ejecución, no presentando dificultades de dependencias y mostrando un desempeño satisfactorio.

**Resultados obtenidos en ChatGPT**

Al utilizar el prompt en esta herramienta, se obtuvieron buenos resultados, requiriendo pocas reiteraciones del código generado por la IA. Su principal desventaja es que no genera el proyecto completo, por lo que resulta necesario copiar y pegar manualmente el código en Android Studio. No obstante, se observó que, ante solicitudes más complejas, es indispensable realizar sucesivas refinaciones.

**Resultados obtenidos en Gemini**

De manera similar a lo realizado con ChatGPT, se llevaron a cabo distintos prompts para la generación de aplicaciones en Android Studio utilizando tanto Kotlin como Java. En este caso, se trabajó con los modelos 2.5 Flash y 2.5 Pro. Sin embargo, los resultados no alcanzaron el mismo nivel de satisfacción que con ChatGPT, ya que las salidas generadas requirieron un mayor número de refinamientos y, en ciertos casos, fue necesario complementarlas con el código producido por otra herramienta de IA.

### 2.5 Actividades iniciales realizadas en Python utilizando programación concurrente

Para realizar estas pruebas se solicitó exclusivamente que el código generado por la IA pudiera ejecutarse en una computadora de escritorio con sistema operativo Windows, y que la ejecución incorporara mecanismos de concurrencia, tales como procesos. En consecuencia, se ensayaron distintos prompts elaborados a partir de diversos enunciados, con el objetivo de evaluar el funcionamiento de las herramientas de IA. Entre ellos se utilizó un enunciado proveniente de una actividad práctica realizada por estudiantes universitarios a comienzos de este año, la cual se detalla a continuación.

*La mansión Derceto, erigida en 1818, ha sido durante generaciones una fuente reconocida de fenómenos inexplicables y actividad paranormal. Ante la creciente*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*preocupación, los célebres investigadores Ed y Lorraine Warren fueron convocados para llevar adelante una exhaustiva investigación. Conscientes de la magnitud del desafío, deciden contratarlo a usted, especialista en programación concurrente, con el objetivo de diseñar un programa capaz de monitorear en simultáneo las múltiples cámaras de última generación instaladas en la propiedad y reportar cualquier anomalía detectada.*

*El sistema deberá estar desarrollado en Ptython y abarcar el control de diversas zonas de la mansión, entre ellas: el sótano 2, el ático, la cocina, el dormitorio, el jardín y el mausoleo. Cada cámara funcionará como un proceso independiente y tendrá asignada una de estas zonas, informando en intervalos determinados la ocurrencia de distintos eventos, que podrán variar entre ausencia de actividad, detección de movimiento, anomalías térmicas, sombras extrañas o ruidos inusuales. Cada reporte deberá imprimirse en la consola con el formato correspondiente que incluya el identificador de la cámara, la zona vigilada y el evento registrado.*

*El sistema recibirá como parámetros tanto la duración total del monitoreo como la frecuencia de los reportes. Una vez concluida la ejecución, cada cámara deberá indicar cuántos eventos paranormales fueron detectados, mientras que el proceso principal esperará a que todas completen su tarea antes de finalizar. Para la validación del programa, los eventos deberán generarse de manera aleatoria, quedando a criterio del equipo definir las probabilidades de ocurrencia de cada uno.*

Luego en base a ello, se definió el prompt técnico de la siguiente manera.

Por lo tanto, los resultados obtenidos a partir de este prompt fueron diferentes, los cuales se detallan en la Fig. 3.

- **LENGUAJE DE PROGRAMACION**:
  - Utilizar lenguaje Python
- **PLATAFORMA:**
  - Windows
- **FUNCIONALIDAD A IMPLEMENTAR:**
  - Desarrollar un sistema que permita generar un árbol de procesos de acuerdo a los requisitos y restricciones indicados en los siguientes puntos. El contexto de la aplicación es que unos investigadores paranormales han sido convocados para investigar una mansión y somos contratados para realizar un programa que pueda monitorear sus múltiples cámaras de última generación y reportar cualquier tipo de actividad extraña.
- **REQUISITOS ESPECIFICOS:**
  - Las ZONAS a monitorear son las siguientes:
    - Sótano 2
    - Ático
    - Cocina
    - Dormitorio
    - Jardín
    - Mausoleo
  - Cada CÁMARA será un proceso independiente.
  - Cada cámara monitorea una zona y cada cierto tiempo informa alguno de los siguientes EVENTOS:
    - Sin actividad
    - Movimiento detectado
    - Anomalía térmica
    - Sombra extraña
    - Ruido detectado
  - Los mensajes se imprimen por consola indicando; ID de CÁMARA, ZONA y EVENTO.
  - La duración del monitoreo de las cámaras (segundos) deberá ser tomado como parámetro.
  - La frecuencia con que reportan las cámaras (segundos) deberá ser tomada como parámetro.
  - Al finalizar, cada cámara informará la cantidad de eventos paranormales detectados.
  - El proceso principal esperará a que todas las cámaras finalicen para luego finalizar.
  - A fin de realizar la prueba del programa, genere aleatoriamente los EVENTOS en cada cámara, queda a criterio del grupo la probabilidad de ocurrencia de cada EVENTO.

**Fig. 3 Prompt técnico utilizado para Python**

## Resultados obtenidos en Cursor

Al utilizar en la herramienta Cursor, el prompt mostrado en la Fig. 3, inicialmente se obtuvo el código del programa solicitado. No obstante, este no funciona correctamente luego de su ejecución. Por ese motivo, hubo que realizar pocas iteraciones de refinamiento para que la herramienta pueda corregirlo de forma automática. Luego de ello, el programa funcionó de acuerdo a lo pedido de manera correcta, con algunos problemas menores de eficiencia.

## Resultados obtenidos en GithubCopilot

Los resultados obtenidos luego de ejecutar este prompt desde la consola de GtihubCopilot fueron satisfactorios. Dado que luego de descargar el código del proyecto en la computadora y ejecutarlo el funcionó correctamente sin que sea necesario una iteración de correciones en el código. Los modelos utilizados fueron GPT4.1 y Claude 3.5.

## Resultados obtenidos en ChatGPT

Luego de ejecutar el prompt en el sitio web de ChatGPT, se obtuvo el código generado por la IA. Dicho código resultó considerablemente más completo que los producidos por GitHub Copilot. Una vez copiado en la computadora, el programa se ejecutó de forma correcta sin necesidad de realizar iteraciones de refinamiento. Incluso, la propia IA sugirió ciertas mejoras y complementaciones al enunciado original. El modelo utilizado en esta experiencia fue GPT-4.0.

## Resultados obtenidos en Workik

Tras utilizar esta herramienta de IA a través de su sitio web, se generó correctamente el código fuente. Al ejecutarlo en la computadora, el programa funcionó de manera satisfactoria, sin requerir iteraciones de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



refinamiento. Para esta experiencia se emplearon los siguientes modelos: GPT-4.1, Claude 3.5, Gemini 2.5 Flash y DeepSeek.

**Resultados obtenidos en Windsurf**

Al igual que con las demás herramientas, al solicitar al IDE de Windsurf la creación del programa mediante el prompt técnico generado, se obtuvo de manera satisfactoria el código fuente correspondiente. Tras su ejecución, se constató el correcto funcionamiento del programa, sin necesidad de realizar iteraciones adicionales de refinamiento. El modelo empleado en esta herramienta fue SWE-1.

### 2.6 Métricas de evaluación

Como se mencionó anteriormente, en la siguiente fase del proyecto se aplicarán métricas de rendimiento para evaluar el funcionamiento de las herramientas de IA seleccionadas. Estas métricas se obtendrán a partir de actividades prácticas realizadas por estudiantes universitarios, quienes desarrollarán sistemas propios de Internet of Things (IoT) con ESP32 y Android Studio, además de aplicaciones complejas de programación concurrente utilizando Python.

En este marco, se propone evaluar el rendimiento en tres cohortes de estudiantes con el objetivo de comparar escenarios de aprendizaje con distintos niveles de dificultad y apoyo. El primero estará conformado por alumnos capacitados en el uso de IA generativa de código, quienes contarán con documentación y tutorías especializadas en la definición de prompts y en la utilización de diferentes herramientas de IA. El segundo grupo estará integrado por alumnos que, si bien tendrán acceso a herramientas de IA, no recibirán tutorías ni capacitaciones adicionales para su empleo. Finalmente, el tercero estará compuesto por estudiantes sin acceso a herramientas de IA, quienes deberán realizar todos los desarrollos de forma manual.

La comparación del desempeño de estos tres grupos permitirá evaluar la eficacia de la IA en el proceso de desarrollo. Para ello, se definirán y registrarán métricas clave, cuyo análisis integral posibilitará una comprensión más profunda de los beneficios y limitaciones de cada enfoque.

**Métricas de Eficiencia y Rendimiento**

Estas métricas se centrarán en la velocidad y el uso de recursos para completar las tareas asignadas.

a. **Tiempo de Finalización de la Tarea:** Se cronometrará el tiempo total que cada individuo o grupo tarda en completar el desarrollo de la consigna. Esta métrica es fundamental para comparar la agilidad y la velocidad de entrega entre los enfoques manual y asistido por IA.

b. **Uso de Recursos Computacionales (CPU y Memoria):** Se monitoreará el consumo promedio y pico de CPU y memoria RAM durante la fase de desarrollo y ejecución de la solución. Esto permitirá evaluar el costo computacional indirecto asociado a la utilización de herramientas de IA generativa, que a menudo se ejecutan en entornos locales o remotos.

c. **Costo Energético Estimado:** Basándose en los datos de uso de recursos computacionales, se estimará el consumo energético asociado a cada enfoque. Esta métrica proporcionará una perspectiva sobre la sostenibilidad y el impacto ambiental de cada metodología.

**Métricas de Calidad y Precisión del Código**

Estas métricas evaluarán el resultado final del desarrollo, es decir, la calidad del código producido.

a. **Exactitud Funcional:** Se evaluará el grado en que el código desarrollado cumple con la totalidad de los requisitos funcionales especificados en la consigna. Esta métrica es la más importante para determinar la efectividad del resultado final.
b. **Legibilidad y Mantenibilidad del Código:** Utilizando una rúbrica predefinida y/o herramientas de análisis estático, se valorará la claridad, la organización y la consistencia del código. Se analizará la estructura, la nomenclatura de variables y funciones, y la calidad de los comentarios y la documentación.

c. **Complejidad Ciclomática**: Se medirá la complejidad del código generado para entender la dificultad intrínseca de su estructura. Esta métrica permitirá comparar si el código asistido por IA tiende a ser más simple o complejo que el desarrollado manualmente.
d. **Cantidad de Refinamientos:** Se registrará el número de iteraciones o ajustes que un individuo tuvo que realizar para corregir el código o cumplir con la consigna. Esto proporcionará una medida del proceso de prueba y error y de la calidad de la primera versión del código producido.

**Métricas del Proceso de Aprendizaje y Desarrollo**

Estas métricas se enfocarán en el proceso cognitivo y la dependencia de las herramientas.

a. **Grado de Independencia Tecnológica:** Se evaluará la dependencia de los alumnos con respecto a las herramientas de IA. Esto podría medirse a través del análisis de las interacciones con la herramienta (ej., cantidad de prompts utilizados, tiempo de interacción) o mediante una encuesta posterior sobre la percepción de dependencia.
b. **Nivel de Conocimiento del Alumno:** Antes y después del experimento, se evaluará el nivel de conocimiento técnico de cada alumno. Esta métrica servirá como una variable de control, permitiendo analizar cómo el nivel de conocimiento previo influye en el rendimiento con o sin herramientas de IA. El grupo de control sin IA será clave para medir la base de habilidades de programación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La combinación de estas métricas permitirá una evaluación multifacética y rigurosa. Se podrán analizar las ventajas de la IA en términos de eficiencia, así como sus posibles desventajas en la calidad del código, el costo computacional y la dependencia del desarrollador

## 4 Conclusiones

En esta investigación se presentaron los análisis preliminares de distintas herramientas de IA generativa orientadas a la producción de código fuente. En una primera instancia se describieron las herramientas seleccionadas para su análisis y, a partir de ellas, se realizaron pruebas iniciales empleando un prompt técnico elaborado específicamente para este trabajo. De este modo, se expusieron los resultados obtenidos en el desarrollo elemental de un sistema de IoT con ESP32 y Android Studio, así como en la implementación de un programa básico en Python utilizando programación concurrente.

Por consiguiente, el trabajo presentado permitió realizar un acercamiento inicial al análisis de herramientas de Vibecoding aplicadas en distintos entornos de desarrollo. La experiencia demostró que, si bien todas las plataformas evaluadas lograron generar código funcional, las diferencias en estabilidad, necesidad de refinamientos y compatibilidad siguen siendo notorias. Algunas propuestas, como Windsurf, Cursor y Workik, mostraron mejores resultados en escenarios específicos, mientras que otras, como GitHub Copilot, Gemini o ChatGPT, ofrecieron soluciones parciales que exigieron mayor intervención manual por parte del usuario.

En este sentido, el estudio no concluye en estas pruebas preliminares, sino que abre la puerta a una segunda fase de la investigación, en donde estudiantes universitarios llevarán a cabo actividades de mayor complejidad y, a partir de ellas, se aplicarán métricas de rendimiento definidas en este estudio para cada una de las herramientas analizadas. Con lo cual, dichas actividades permitirán evaluar con mayor rigor el impacto real del vibecoding en la práctica educativa y en la formación de competencias profesionales, ofreciendo así un contexto para reflexionar sobre el rol de la IA en el desarrollo de software y sobre el futuro mismo en el ámbito de la programación.

## Referencias

[1] N. Ivan and H. Guerra, “Un Cambio Inevitable: La Sustitución de Empleos por la Inteligencia Artificial,” 2023. doi: 10.13140/RG.2.2.25453.56808.

[2] “Ahora ChatGPT puede ver, escuchar y hablar | OpenAI.” Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://openai.com/es-419/index/chatgpt-can-now-see-hear-and-speak/

[3] “Los trabajos que la IA puede hacer y los que no debería - AEEN.” Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.aeen.org/los-trabajos-que-la-ia-puede-hacer-y-los-que-no-deberia/

[4] C. Peiwen, N. Sulaiman, and S. Zhenglong, “The Impact of Artificial Intelligence Application on Job Displacement and Creation: A Systematic Review,” Apr. 2025, doi: 10.47772/IJRISS.

[5] “Estas son las profesiones que se deben reinventar con la IA: contador, abogados, programadores y más - Infobae.” Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.infobae.com/tecno/2025/07/22/estas-son-las-profesiones-que-se-deben-reinventar-por-la-ia-contador-abogados-programadores-y-mas/

[6] X. Hou, Y. Zhao, S. Wang, and H. Wang, “Model Context Protocol (MCP): Landscape, Security Threats, and Future Research Directions,” Apr. 2025, http://arxiv.org/abs/2503.23278

[7] C. A. Teijeiro, “El futuro del trabajo y el impacto de la inteligencia artificial (IA): dos hipótesis disruptivas,” in *El futuro del trabajo y el impacto de la IA.*, Crodoba,Argentina, Aug. 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/382909417

[8] J. G. Corvalan, “El impacto de la Inteligencia Artificial en el trabajo,” *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, vol. 10, no. 1, p. 35, Nov. 2019, doi: 10.7213/rev.dir.econ.soc.v10i1.25870.

[9] Europaem, “The ageing brain: how to maintain cognitive functions into old age,” europaem.eu/en/the-ageing-brain-how-to-maintain-cognitive-functions-into-old-age/.

[10] P. Pajo and G. With Xai, “Vibe Coding: Revolutionizing Software Development with AI-Generated Code,” 2025, doi: 10.13140/RG.2.2.36458.22727.

[11] P. Sahoo, A. K. Singh, S. Saha, V. Jain, S. Mondal, and A. Chadha, “A Systematic Survey of Prompt Engineering in Large Language Models: Techniques and Applications,” Mar. 2025

[12] Abilytics, “Vibecoding: A New Era of AI-Assisted Software Development,” 2024.

[13] P. P. Ray, “A Review on Vibe Coding: Fundamentals, State-of-the-art, Challenges and Future Directions,” May 09, 2025. doi: 10.36227/techrxiv.174681482.27435614/v1.

[14] “ChatGPT Capabilities Overview | OpenAI Help Center.” Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://help.openai.com/en/articles/9260256-chatgpt-capabilities-overview

[15] “Descripción general de Gemini Code Assist | Google for Developers.” Accessed: Aug.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



25, 2025. [Online]. Available: https://developers.google.com/gemini-code-assist/docs/overview?hl=es-419

[16] "Características de GitHub Copilot - Documentación de GitHub." Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://docs.github.com/es/copilot/get-started/features

[17] "Workik AI: Plataforma de desarrollo impulsada por IA para generación de código y colaboración en equipo." Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.toolify.ai/es/tool/workik

[18] "Features | Cursor - The AI Code Editor." Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://cursor.com/features

[19] "Editor de Código Agentico de la IA Windsurf: Funciones, configuración y casos de uso | DataCamp." Accessed: Aug. 25, 2025. [Online]. Available: https://www.datacamp.com/es/tutorial/windsurf-ai-agentic-code-editor

[20] P. Liu, W. Yuan, J. Fu, Z. Jiang, H. Hayashi, and G. Neubig, "Pre-train, Prompt, and Predict: A Systematic Survey of Prompting Methods in Natural Language Processing," Jul. 2021, http://arxiv.org/abs/2107.13586

[21] J. Wei *et al.*, "Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models," Jan. 2023, http://arxiv.org/abs/2201.11903

[22] J. White *et al.*, "A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT," Feb. 2023, http://arxiv.org/abs/2302.11382

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Marco de trabajo para mejorar la calidad de requerimientos ágiles: una primera aproximación

*Gabriela Tomaselli, Noelia Pinto, Denise Martínez, Jerónimo Zapata, Ariano Miranda, Martín Lopez Soto*
*Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC)*
*Facultad Regional Resistencia – Universidad Tecnológica Nacional*
*French 414, Resistencia, Chaco, Argentina*
*{gabriela.tomaselli,ns.pinto,denise_utn,jerozapata13,arianogabriel02,martinlopezsoto08}@gmail.com*

## Resumen

*En el marco de la Ingeniería de Software Empírica, este trabajo presenta un marco de trabajo para la gestión de requerimientos en entornos ágiles, con el objetivo de mejorar la claridad, completitud, consistencia y trazabilidad de los mismos desde etapas tempranas del ciclo de vida del desarrollo. A partir de una revisión sistemática de la literatura y una encuesta a profesionales del sector, se identificaron desafíos recurrentes en la definición y documentación de los requerimientos ágiles. Como respuesta, se propone un modelo estructurado que integra criterios cuantificables y métricas operativas para evaluar la calidad de los requerimientos, así como una primera aproximación de herramienta que mediante un kernel que orqueste los módulos de clasificación, validación y priorización. El enfoque propuesto ofrece una base sólida para la mejora continua en la gestión de requerimientos ágiles, al tiempo que abre la puerta a futuras implementaciones automatizadas. La validación empírica del modelo y el desarrollo de herramientas de soporte serán los pasos siguientes para consolidar este marco y evaluar su impacto en la calidad de los productos de software.*

## 1. Introducción

El Desarrollo Ágil de Software (ASD, por sus siglas en inglés *Agile Software Development*) ha sido ampliamente adoptado en la industria debido a su flexibilidad, su carácter iterativo y su énfasis en la entrega temprana de valor. Sin embargo, a pesar de su popularidad, la gestión de requerimientos en estos entornos continúa presentando desafíos significativos, particularmente en áreas críticas como la completitud, trazabilidad y priorización de los requerimientos [1, 2]. En numerosos casos, las organizaciones implementan prácticas ágiles de manera intuitiva o parcial, sin realizar una evaluación sistemática de su impacto en la calidad tanto del proceso como del producto [3].

Estudios empíricos han identificado que la definición deficiente de requerimientos constituye una de las principales causas de inestabilidad y demoras en proyectos ágiles [4]. No obstante, los enfoques tradicionales de Ingeniería de Requerimientos (RE, por sus siglas en inglés *Requirements Engineering*) suelen presentar limitaciones para abordar los desafíos específicos de estos entornos, lo que refuerza la necesidad de investigar y validar, mediante métodos empíricos, aquellas prácticas que resultan más efectivas en contextos ágiles [5]. En este sentido, la Ingeniería de Software Empírica (ESE, por sus siglas en inglés *Empirical Software Engineering*) adquiere especial relevancia, ya que permite generar evidencia a partir de experiencias reales de equipos de desarrollo y así evaluar cómo distintas estrategias de gestión de requerimientos inciden en la calidad del proceso y del producto [6, 7].

En este marco, la ESE se consolida como un enfoque idóneo para abordar los desafíos complejos del desarrollo de software, especialmente en contextos ágiles, donde la dinámica de cambio exige soluciones flexibles y basadas en evidencia. Bajo esta perspectiva, en una primera etapa se implementaron diversas metodologías empíricas, iniciando con una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), con el fin de proporcionar una comprensión integral sobre las estrategias y prácticas de gestión de requerimientos que podrían contribuir a mejorar la calidad de los procesos ágiles. Los hallazgos de esta RSL revelaron áreas críticas que impactan negativamente en la calidad del software, como la incompletitud de los requerimientos, su baja trazabilidad y las dificultades para priorizarlos de manera efectiva [8].

A partir de estos hallazgos, se diseñó una encuesta con el objetivo de relevar el estado actual de la práctica de gestión de requerimientos en entornos reales de ASD. Esta encuesta no solo buscó reflejar las prácticas prevalentes en equipos de desarrollo de software, sino también validar y expandir el conocimiento generado por la RSL, proporcionando datos empíricos que podrían orientar mejoras prácticas en la industria. La encuesta se centró en relevar información sobre aspectos clave de la gestión de requerimientos, tales como la adopción de enfoques ágiles, la captura y priorización de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



requerimientos, las técnicas de documentación y la gestión de cambios, identificados previamente como problemáticas recurrentes con impacto potencial en la calidad de los procesos de desarrollo de software.

Los resultados de la encuesta mostraron patrones consistentes con los hallazgos de la RSL, evidenciando nuevamente la presencia de deficiencias en la completitud, calidad, trazabilidad y priorización de los requerimientos. Estos hallazgos subrayan la necesidad de nuevas estrategias que puedan acompañar a los equipos de desarrollo desde las etapas iniciales de los proyectos. Mejorar la calidad y la relevancia contextual de los procesos ágiles requerirá un enfoque más integrado en la captura, análisis y evolución de los requerimientos a lo largo del ciclo de vida del desarrollo. Por lo tanto, como parte de las futuras fases de esta investigación, se propone el diseño de nuevos enfoques capaces de abordar los impedimentos identificados mediante la automatización y agilización de aspectos clave de la gestión de requerimientos.

En esta segunda etapa, el estudio se centra en el diseño de un marco de trabajo integral destinado a asistir la gestión de requerimientos en entornos ágiles. Este marco se compone de dos elementos fundamentales: un modelo conceptual de calidad para el análisis, calificación y clasificación de requerimientos, y una herramienta de software que automatiza los componentes clave del modelo. La propuesta se apoya en los hallazgos empíricos previos y establece tanto los fundamentos teóricos como los principios de automatización necesarios para su implementación práctica.

El modelo de calidad considera indicadores tanto cuantitativos como cualitativos para evaluar atributos clave de los requerimientos, tales como claridad, completitud, consistencia, modularidad, entre otros; mientras que la herramienta automatizada integra mecanismos de evaluación sistemática, retroalimentación inteligente y enriquecimiento textual. Este enfoque no busca reemplazar el juicio experto, sino complementarlo mediante una evaluación sistemática y adaptable, orientada a mejorar la calidad de los requerimientos y, con ello, mejorar tanto los procesos de desarrollo como los productos resultantes.

La motivación central de este trabajo es presentar una primera aproximación de un marco de trabajo compuesto por un modelo de evaluación de calidad y una herramienta que automatice los componentes de dicho modelo. La propuesta ha sido ideada como fundamento para la clasificación, evaluación y refinamiento de requerimientos ágiles de software, proporcionando un marco que favorezca su gestión eficiente y consistente.

Este trabajo se enmarca dentro de la línea de investigación "Métodos, técnicas y herramientas para mejorar y evaluar la calidad de requerimientos en proyectos ágiles de Software", desarrollada en el Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC) de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional. Esta línea de investigación se propone articular la investigación empírica con desarrollos tecnológicos concretos que aporten valor práctico a la industria del software, generando al mismo tiempo conocimiento transferible a contextos educativos y profesionales.

El resto del trabajo se estructura de la siguiente manera: la sección 2 presenta las motivaciones y el marco empírico que sustentan la propuesta; la sección 3 describe diseño y estructura de una primera aproximación al modelo de calidad; la sección 4 expone una propuesta preliminar de automatización de componentes del modelo; y la sección 5 plantea las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

## 2. Motivaciones

La creciente complejidad de los proyectos de software, junto con la adopción generalizada de enfoques ágiles, ha evidenciado la necesidad de contar con mecanismos más robustos para gestionar eficazmente los requerimientos desde las primeras fases del desarrollo. En este contexto, como parte de una etapa previa de esta línea de investigación, se llevó a cabo una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) y una encuesta a profesionales de la industria, cuyos resultados fueron presentados en CONAIISI 2024 [9]. Estos estudios permitieron construir un panorama integral de las prácticas actuales, los obstáculos frecuentes y las oportunidades de mejora en la gestión de requerimientos en contextos ágiles.

La RSL analizó 98 estudios relevantes, de los cuales 42 cumplieron con criterios de calidad y fueron clasificados como estudios primarios. Entre los hallazgos más significativos se destacan las dificultades para lograr requerimientos completos, trazables y consistentes dentro de marcos ágiles de trabajo. Además, se identificó la falta de integración entre prácticas tradicionales de ingeniería de requerimientos y enfoques ágiles, así como la escasa orientación a la mejora continua de los requerimientos a lo largo del proceso.

La encuesta, aplicada a 40 profesionales de la industria del desarrollo de software, aportó información empírica complementaria. Los resultados mostraron que el 87,5% de los encuestados utilizaba Scrum, y que las técnicas predominantes de captura de requerimientos eran entrevistas con usuarios y el uso de historias de usuario. No obstante, el 72,5% de los participantes indicó dificultades persistentes con la incompletitud de los requerimientos, y más del 60% señaló problemas para gestionar interdependencias y mantener documentación actualizada. Además, los requerimientos no funcionales mostraron una baja atención sistemática, y se identificaron impedimentos como la escasa participación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de los stakeholders y la falta de herramientas automatizadas de apoyo.

Estos resultados revelan una necesidad crítica: la de contar con modelos estructurados que no solo permitan evaluar la calidad de los requerimientos existentes, sino también proporcionar guías y mecanismos concretos para su mejora. En particular, se observa una carencia de enfoques que integren valoraciones objetivas y estrategias de enriquecimiento adaptadas a contextos ágiles.

A partir de este diagnóstico, la motivación central de este trabajo es desarrollar una primera aproximación a un marco de trabajo compuesto por un modelo de evaluación de calidad y una herramienta que automatice los componentes de dicho modelo. La propuesta busca sentar las bases para la clasificación, evaluación y refinamiento de requerimientos ágiles de software, ofreciendo un marco que favorezca su gestión eficiente y consistente.

Por una parte, el objetivo del modelo es formalizar criterios de evaluación y establecer estructuras reutilizables que puedan ser integradas en futuras herramientas inteligentes. Y, por otra parte, la finalidad de la herramienta es permitir la gestión automática de los componentes del modelo ofreciendo información sobre el nivel de calidad de los requerimientos ágiles que se procesen.

Con esta iniciativa se busca dar continuidad a la línea de investigación previa, enfocándose ahora en el diseño conceptual y metodológico necesario para fundamentar desarrollos posteriores que incluyan agentes inteligentes o sistemas de recomendación automatizados.

La siguiente sección describe la primera aproximación al modelo propuesto, diseñado para responder a estas necesidades.

## 3. Primera aproximación al modelo de calidad de gestión de requerimientos ágiles

Un modelo de calidad en Ingeniería de Software constituye un marco conceptual y metodológico que establece criterios, métricas y procesos sistemáticos para evaluar, medir y mejorar la calidad de productos o procesos de software [10]. Estos modelos proporcionan una estructura formal que permite identificar características deseables, definir indicadores cuantificables y establecer procedimientos reproducibles para la evaluación de la calidad [11]. En el contexto específico de la gestión de requerimientos, un modelo de calidad se orienta hacia la evaluación de aspectos como claridad, completitud, consistencia, verificabilidad y trazabilidad de las especificaciones [12].

El desarrollo de un modelo de calidad específico para requerimientos ágiles responde a las particularidades que estos presentan en comparación con los tradicionales. Al expresarse con frecuencia en forma de historias de usuario, los requerimientos ágiles priorizan la comunicación directa, la flexibilidad y la evolución incremental por sobre la documentación exhaustiva [13]. Esta naturaleza dinámica y menos formal introduce desafíos únicos en la evaluación de calidad, dado que los criterios convencionales resultan insuficientes o demasiado rígidos para este contexto [14].

La implementación de un modelo de calidad para requerimientos ágiles cumple múltiples propósitos fundamentales. Primero, proporciona un mecanismo sistemático para identificar y diagnosticar deficiencias en la especificación de requerimientos antes de que estas se propaguen a etapas posteriores del desarrollo, reduciendo así el costo de corrección [15]. Segundo, facilita la estandarización de criterios de calidad entre equipos de desarrollo, promoviendo la consistencia en la evaluación independientemente del evaluador humano. Tercero, permite la automatización de procesos de revisión y refinamiento, liberando recursos humanos para actividades de mayor valor agregado [16].

Además, un modelo de calidad bien estructurado contribuye a la mejora continua del proceso de especificación de requerimientos, proporcionando retroalimentación sistemática que permite a los equipos identificar patrones recurrentes de deficiencias y desarrollar estrategias preventivas [17]. En el contexto de metodologías ágiles, donde la velocidad de desarrollo es crítica, la disponibilidad de mecanismos automatizados de evaluación de calidad se convierte en un factor diferenciador que puede impactar significativamente en la productividad del equipo.

El modelo propuesto en este trabajo se estructura en componentes interrelacionados que conforman un flujo de proceso integral para la evaluación de requerimientos ágiles. En las subsecciones siguientes se presentarán detalladamente cada uno de estos componentes, así como las relaciones y dependencias entre ellos que dan lugar al flujo del proceso de evaluación. Esta arquitectura modular permite tanto la comprensión conceptual del modelo como su implementación práctica en herramientas automatizadas.

### 3.1. Componentes del modelo

El modelo conceptual ha sido diseñado para que los requerimientos, en su forma original, sean analizados, clasificados, reestructurados y organizados antes de transformarse en historias de usuario. De este modo, se busca mejorar la calidad y trazabilidad de los requerimientos, asegurando que los equipos dispongan desde el inicio de insumos claros, completos y priorizados.

La propuesta se fundamenta en principios establecidos por normas internacionales como ISO/IEC 25010 (modelo de calidad del software) [18], CMMI

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(modelo de madurez de procesos) [19] y QuAM (modelo de calidad ágil) [20, 21], adaptados a las características y necesidades específicas de los entornos ágiles.

El modelo consta de tres componentes fundamentales: clasificación, validación y priorización de requerimientos. Se propone un flujo metodológico desde la recolección hasta la consolidación de los requerimientos, empleando una plantilla estandarizada que permite documentar los resultados de manera uniforme y consistente. Para mayor detalle, se exponen a continuación cada uno de los 3 componentes del modelo.

### 3.1.1. Clasificación de requerimientos

Una correcta clasificación de los requerimientos es el primer paso para lograr una gestión eficiente del desarrollo de software. Clasificar significa entender en profundidad la esencia de cada requerimiento, su objetivo, sus implicancias técnicas y su relación con el valor de negocio. La clasificación no solo permite una organización más ordenada del backlog, sino que también habilita procesos de análisis, trazabilidad y toma de decisiones más precisos en las etapas de diseño, implementación y mantenimiento. Este componente del modelo se fundamenta en el estándar ISO/IEC 25010, que establece una noción integral de calidad del software incluyendo atributos funcionales y no funcionales. A partir de este enfoque, el modelo distingue los siguientes tipos de requerimientos:

- **Requerimientos funcionales**: se refieren a las funcionalidades que el sistema deberá proporcionar. Estos requerimientos representan acciones concretas que el sistema debe ser capaz de ejecutar y que están directamente relacionados con el comportamiento esperado del producto frente a diferentes entradas o situaciones (por ejemplo, *"el sistema permitirá a los usuarios autenticar su identidad mediante contraseña y segundo factor"*). Según ISO/IEC 25010, los requerimientos funcionales están directamente relacionados con la característica de funcionalidad y su subcaracterística de adecuación funcional.
- **Requerimientos no funcionales**: describen los atributos de calidad que debe cumplir el sistema, como rendimiento, seguridad, portabilidad, compatibilidad, mantenibilidad o usabilidad. Aunque no definen qué hace el sistema, establecen cómo debe hacerlo (por ejemplo, *"el sistema deberá ser capaz de procesar 1000 solicitudes concurrentes sin degradar el tiempo de respuesta por debajo de 2 segundos*"). Estos requerimientos están alineados con la mayor parte de las características del modelo de calidad de ISO/IEC 25010.
- **Requerimientos técnicos**: agrupan condiciones específicas necesarias para la implementación del sistema, como entornos de ejecución, herramientas requeridas, restricciones de lenguaje o tecnologías impuestas por la infraestructura. Estos requerimientos pueden derivarse tanto de necesidades funcionales como no funcionales, y son clave para el diseño arquitectónico (por ejemplo, *"el sistema deberá integrarse mediante API RESTful con el sistema de pagos externo"*).
- **Requerimientos de negocio**: representan las necesidades y objetivos de alto nivel del cliente o de la organización. Suelen originarse a partir de expectativas estratégicas y se traducen posteriormente en requerimientos funcionales y no funcionales (por ejemplo, *"el sistema deberá permitir reducir el tiempo promedio de atención al cliente en un 30%"*). Su adecuada identificación permite alinear el desarrollo con la misión y visión del negocio.

Junto con la clasificación por tipo, el modelo considera una clasificación complementaria según tres dimensiones fundamentales. En primer lugar, la **complejidad** estima el esfuerzo necesario para implementar el requerimiento, considerando aspectos técnicos, organizacionales y de integración. Los requerimientos de alta complejidad requieren planificación detallada, revisiones cruzadas y más recursos para su ejecución, y clasificar la complejidad ayuda a anticipar riesgos y gestionar expectativas.

En segundo término, las **dependencias** analizan las relaciones que un requerimiento mantiene con otros dentro del sistema. Pueden ser requerimientos que se deben implementar previamente, componentes que interactúan directamente o condiciones externas que afectan su funcionamiento, y detectar estas dependencias tempranamente es vital para evitar cuellos de botella, asegurar la coherencia funcional y reducir retrabajos.

Finalmente, el **impacto** evalúa cuán relevante es el requerimiento en relación con los objetivos del proyecto o del cliente. Un requerimiento de alto impacto puede ser determinante para el éxito o fracaso del producto, y esta dimensión permite establecer jerarquías y tomar decisiones de prioridad fundamentadas.

Para apoyar la clasificación y validación de los requerimientos, se utiliza una matriz de clasificación basada en el modelo CMMI. Esta herramienta facilita el registro de las características clave de cada requerimiento, tales como el tipo, la complejidad, las dependencias y el impacto, permitiendo realizar un análisis cruzado de los datos, tal como se muestra en la Tabla 1. Además, permite detectar combinaciones críticas (por ejemplo, requerimientos técnicos de alta complejidad y alto impacto con muchas dependencias), facilitando la toma de decisiones en etapas posteriores como la validación, la asignación de recursos o la planificación de iteraciones. Además, brinda una base estructurada para futuras automatizaciones o integraciones con sistemas de inteligencia artificial.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 1. Matriz de clasificación de requerimientos**

| ID Req | Descripción breve | Tipo | Complejidad | Dependencias | Impacto | Estado actual | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RQ 01 | Registro de usuario | Funcional | Media | RQ03 (Base de datos) | Alto | En análisis | Depende de diseño de modelo de datos |
| RQ 02 | Envío de notificaciones | No funcional | Alta | RQ05 (Configuración SMTP) | Medio/Alto | Pendiente | Evaluar impacto en rendimiento |
| RQ 03 | Crear base de datos de usuarios | Técnica / Soporte | Alta | – | Crítico | Aprobado | Crítico, habilita RQ01 y RQ06 |
| RQ 04 | Validación de datos en frontend | Funcional | Baja | RQ01 | Medio | En desarrollo | Independiente de backend |
| RQ 05 | Configurar servidor de correos | Técnica / Infra | Media | – | Medio | En análisis | Necesaria para notificaciones (RQ02) |
| RQ 06 | Login con verificación en dos pasos | Funcional | Alta | RQ01, RQ03 | Alto | Pendiente | Múltiples dependencias, priorizar |

### 3.1.2. Validación de requerimientos

Una vez clasificados, los requerimientos deben ser validados para garantizar que representan fielmente las necesidades del cliente, son técnicamente viables y están correctamente formulados. Esta etapa es clave para asegurar que los requerimientos no solo estén bien escritos, sino que también sean útiles, coherentes, realizables y relevantes dentro del contexto del proyecto. Validar no implica únicamente verificar su presencia en un documento, sino confirmar su calidad sustantiva y su alineación con los objetivos del negocio y las capacidades técnicas del equipo.

El proceso de validación toma como base los lineamientos de la norma IEEE 830 (especificación de requerimientos de software) [22] y las prácticas de modelos como QuAM, incorporando criterios explícitos que permitan revisar sistemáticamente cada requerimiento antes de ser incluido en el backlog. La validación se convierte así en una instancia de control de calidad del conocimiento recolectado durante la etapa de relevamiento, donde cada criterio de calidad se evalúa mediante métricas específicas que proporcionan una base objetiva y medible para la toma de decisiones.

El modelo define los siguientes criterios de validación, asociados a métricas que permiten su evaluación cuantitativa:

- **Necesario:** el requerimiento debe ser esencial para el propósito del sistema, evaluando su alineación con los objetivos de negocio y su impacto en la funcionalidad del sistema.
- **Apropiado:** debe presentarse con el nivel de detalle y formato adecuados para la etapa de desarrollo, medido mediante índices de completitud estructural y adherencia a plantillas.
- **No ambiguo:** su redacción debe ser precisa y sin múltiples interpretaciones, evaluada cuantificando la presencia de términos imprecisos o construcciones sintácticas problemáticas.
- **Completo:** debe cubrir la necesidad en su totalidad, comprobado mediante la presencia de elementos obligatorios y la cobertura de casos de uso.
- **Singular:** debe describir una única funcionalidad, medido por la cantidad de responsabilidades identificadas y la cohesión semántica del enunciado.
- **Factible:** debe ser implementable con los recursos y tecnologías disponibles, considerando la complejidad técnica frente a las capacidades del proyecto.
- **Verificable:** debe permitir demostrar su cumplimiento a través de pruebas, lo cual se mide por la presencia de criterios de aceptación testeables y condiciones observables.
- **Correcto:** debe reflejar la necesidad real del usuario, validado mediante trazabilidad hacia fuentes de información y confirmación con stakeholders.
- **Claro:** debe cumplir con estándares y convenciones de la organización, evaluado a partir de la legibilidad, el uso de terminología estándar y la estructura sintáctica.
- **Consistente:** no debe contradecir a otros requerimientos del conjunto, lo que se asegura mediante análisis de conflictos semánticos, contradicciones lógicas y solapamientos funcionales.
- **Viable:** debe poder implementarse dentro de los parámetros del proyecto, lo que se cuantifica analizando la factibilidad técnica, disponibilidad de recursos y plazos establecidos.

El modelo basa su evaluación en la observación de atributos específicos, que son medidos mediante un conjunto de métricas asociadas a cada criterio de calidad. Estas métricas permiten calcular un índice de calidad global para cada requerimiento y actúan como instrumentos de evaluación sistemática, aplicables tanto de forma automatizada como en sesiones colaborativas con Product Owners (POs), usuarios clave y miembros del equipo técnico. De este modo, se asegura una visión multifacética del requerimiento respaldada por evidencia medible.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



#### 3.1.3. Priorización de requerimientos

Una vez que los requerimientos han sido clasificados y validados, el siguiente paso es asignarles una prioridad. La priorización tiene como propósito garantizar que el esfuerzo del equipo se concentre en aquello que genera mayor valor para el negocio, satisface necesidades críticas del cliente o habilita funcionalidades clave para el sistema.

El modelo propone combinar criterios fundamentales con técnicas de priorización reconocidas, entre las que se incluyen MoSCoW [23, 24] y Planning Poker [25]. De esta manera, los criterios proporcionan la base de decisión, mientras que las técnicas ofrecen un marco práctico para estructurar la discusión y alcanzar consensos dentro del equipo.

Los criterios fundamentales para la priorización de los requerimientos son:

- **Valor de negocio**, que representa el impacto directo de un requerimiento en los objetivos estratégicos del cliente y la organización.
- **Esfuerzo estimado**, que hace referencia a los recursos (tiempo, personal, tecnología, etc.) necesarios para la implementación; un requerimiento con alto esfuerzo puede requerir más tiempo y recursos, lo que influye en su posición en la priorización.
- **Urgencia**, que determina la necesidad inmediata de implementación de un requerimiento en comparación con aquellos que pueden ser abordados en fases posteriores del proyecto.

Planning Poker permite consensuar de manera colaborativa el esfuerzo estimado de cada requerimiento, mediante la asignación de valores relativos por parte de los miembros del equipo.

MoSCoW clasifica los requerimientos como:
- Must Have (imprescindibles);
- Should Have (importantes pero no críticos);
- Could Have (convenientes si hay tiempo); y
- Won't Have (no incluidos en la versión actual).

La integración de criterios y técnicas permite establecer prioridades de forma transparente, equilibrando la perspectiva estratégica del negocio con la capacidad operativa del equipo de desarrollo.

### 3.2. Funcionamiento del proceso del modelo

El modelo se operacionaliza a través de un flujo secuencial, iterativo y colaborativo, diseñado para integrarse en cualquier framework ágil (Scrum, Kanban, XP). Este flujo organiza de manera práctica los componentes definidos en la sección 3.1 –clasificación, validación y priorización– y los articula en un proceso unificado que facilita su aplicación en contextos reales de desarrollo.

El proceso se estructura en cinco etapas principales: (i) identificación y clasificación, (ii) medición, (iii) validación colaborativa, (iv) priorización y consolidación, y (v) generación del resultado de análisis de requerimientos. Cada etapa toma como base los lineamientos conceptuales ya definidos y los convierte en pasos concretos que pueden repetirse de manera cíclica a lo largo del proyecto.

#### 3.2.1. Identificación y Clasificación

El proceso se inicia con la recolección de requerimientos mediante entrevistas con usuarios, talleres de co-creación, revisión de documentación previa y análisis de procesos. En esta fase se busca capturar la mayor cantidad posible de información relevante, garantizando que los requerimientos reflejen tanto las necesidades funcionales como los objetivos estratégicos del negocio.

Una vez recolectados, los requerimientos se registran en bruto y luego se clasifican siguiendo los lineamientos definidos en la sección 3.1.1. Para ello se utiliza la matriz de clasificación presentada en la Tabla 1, que organiza cada requerimiento según su tipo (funcional, no funcional, técnico o de negocio) y de acuerdo con tres dimensiones complementarias: complejidad, dependencias e impacto.

Este procedimiento asegura que, desde el inicio, cada requerimiento cuente con un registro estructurado que facilite el análisis posterior y siente las bases para su validación y priorización.

#### 3.2.2. Medición

En esta etapa se evalúan las métricas asociadas a los criterios de validación definidos en la sección 3.1.2, con el fin de obtener una valoración cuantitativa y objetiva de la calidad de cada requerimiento.

Se proponen métricas de calidad que amplían la cobertura del cuarto componente del modelo QuAM para cada característica evaluada del requerimiento. La Tabla 2 ilustra esta relación, mostrando ejemplos de atributos positivos y negativos junto con los criterios de medición correspondientes.

Este enfoque asegura que la evaluación no se limite a observaciones cualitativas, sino que incorpore evidencia medible que facilite comparaciones y ajustes en etapas posteriores del proceso.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 2. Relación entre atributos y criterios de medición**

| Atributo Positivo | | Atributo Negativo | |
|---|---|---|---|
| A4.1 Valor a la claridad de requerimientos | | A.4.2 Valor a la ambigüedad de requerimientos | |
| Criterios de medición para A4.1 | Valor | Criterios de medición para A4.2 | Valor |
| El requerimiento está redactado con términos claros, estandarizados, y con interpretación unívoca entre stakeholders. | 4 | El requerimiento contiene múltiples términos ambiguos o subjetivos, generando contradicciones importantes entre stakeholders. | -4 |
| La mayoría de los términos son claros, aunque existe alguna posible interpretación secundaria menor. | 2 | El requerimiento admite diferencias de interpretación menores que generan dudas puntuales. | -2 |
| El requerimiento es comprensible en lo esencial, pero requiere revisión de glosario o ajustes menores de redacción. | 1 | El requerimiento presenta formulaciones confusas en algún punto; se detectan contradicciones en reuniones de revisión. | -1 |
| No se detecta claridad destacada; el requerimiento cumple de manera básica con su función comunicativa. | 0 | No se encuentran conflictos de interpretación ni expresiones particularmente problemáticas. | 0 |

### 3.2.3. Validación Colaborativa

En esta etapa se promueve la participación activa de los actores clave para asegurar la calidad de los requerimientos desde múltiples perspectivas. Se programan sesiones con los stakeholders relevantes, en las cuales se evalúa cada requerimiento aplicando las métricas asociadas a los criterios de validación definidos en la sección 3.1.2.

Como resultado de estas reuniones, se documentan las correcciones necesarias y se ajustan los requerimientos antes de que puedan avanzar a la siguiente fase del proceso.

De esta manera, la validación colaborativa refuerza la calidad de los requerimientos mediante una visión integral, que combina la evidencia cuantitativa con la experiencia y el juicio de los principales interesados en el proyecto.

### 3.2.4. Priorización y Consolidación

En sesiones de equipo se aplican Planning Poker (para estimar el esfuerzo) y MoSCoW (para asignar prioridad), siguiendo los lineamientos definidos en la sección 3.1.3. Una vez consensuados los resultados, se documenta la prioridad acordada y se crea un backlog inicial priorizado.

Además, se establece una revisión periódica de prioridades para ajustarlas a medida que el proyecto evoluciona. Este proceso puede repetirse para cada nueva oleada de requerimientos identificados durante el ciclo iterativo de desarrollo.

### 3.2.5. Resultado de análisis de requerimientos

La consolidación de cada requerimiento se registra en una plantilla estandarizada, que asegura un formato uniforme y trazable. Esta plantilla constituye la unidad de salida del modelo y el insumo directo para la conformación del backlog de desarrollo, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3. Plantilla de Salida**

| **Campo** | **Contenido** | |
|---|---|---|
| **Nombre del Requerimiento** | (Identificador breve y representativo) | |
| **Descripción** | (Explicación clara y concisa del requerimiento) | |
| **Tipo de Requerimiento** | ☐ Funcional<br>☐ No funcional<br>☐ Técnico<br>☐ Negocio | |
| **Complejidad** | ☐ Baja<br>☐ Media<br>☐ Alta<br>Justificación: (……) | |
| **Dependencias** | (Módulos, requerimientos o procesos relacionados) | |
| **Impacto en el proyecto** | ☐ Alto<br>☐ Medio<br>☐ Bajo | |
| **Validación** | Necesario:<br>Apropiado:<br>No ambiguo:<br>Completo:<br>Singular:<br>Factible:<br>Verificable:<br>Correcto:<br>Claro:<br>Consistente:<br>Viable: | ☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No<br>☐ Sí ☐ No |
| **Prioridad (MoSCoW)** | ☐ Must Have<br>☐ Should Have<br>☐ Could Have<br>☐ Won’t Have | |
| **Observaciones** | (Notas adicionales, decisiones tomadas, responsables involucrados) | |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esta estructura permite mantener la trazabilidad de decisiones, facilitar la comunicación entre equipos y transformar los requerimientos en historias de usuario más coherentes. En etapas futuras, se prevé que la plantilla funcione como salida estandarizada de sistemas automáticos que implementen el modelo, sirviendo de puente entre el análisis de requerimientos y la planificación técnica.

El modelo no se limita a verificar si los requerimientos cumplen con estándares teóricos de calidad, sino que promueve un proceso sistemático de mejora continua. La validación asegura que los requerimientos producidos puedan ser refinados, priorizados y transformados en historias de usuario de mayor calidad, con un impacto directo en la eficiencia de los equipos ágiles y en la calidad del software resultante.

### 3.3. Validación del modelo

Tras la descripción de los componentes y del proceso del modelo, resulta necesario garantizar su rigor y solidez técnica. Con este fin, la validación del marco de trabajo se realizará tomando como base el Agile Quality Framework (AQF) [26], un enfoque ya consolidado y validado para la evaluación de requerimientos ágiles.

La elección del AQF se fundamenta en tres aspectos principales:

- **Alineación conceptual:** incorpora criterios esenciales como necesidad, completitud, claridad, factibilidad y verificabilidad, que coinciden con los atributos definidos en el presente modelo.
- **Reconocimiento académico e industrial:** ha sido aplicado en experiencias empíricas y validado por la comunidad de Ingeniería de Software, lo que aporta rigor a la comparación.
- **Enfoque práctico:** sus métricas y escalas de medición resultan aplicables en entornos reales, permitiendo una evaluación sistemática que puede integrarse con herramientas automatizadas.

La validación del modelo se plantea en dos niveles complementarios:

- **Validación conceptual:** se realizó un mapeo directo entre los atributos definidos en el modelo y las características del AQF. Por ejemplo, el criterio de "no ambigüedad" del modelo se corresponde con la característica de "claridad" del AQF; la "factibilidad" técnica se alinea con el atributo de "viabilidad"; y la "consistencia" con el conjunto de requerimientos se vincula con la característica de "coherencia interna" del AQF. Este mapeo asegura que cada criterio del modelo cuenta con un respaldo normativo y metodológico reconocido.
- **Validación práctica:** en fases posteriores se prevé la aplicación del modelo en casos de estudio controlados. Para ello se utilizarán métricas derivadas del AQF, complementadas con indicadores propios como el grado de completitud estructural, el nivel de trazabilidad y la precisión semántica de los requerimientos. Asimismo, se contempla la participación de expertos de la industria y académicos en sesiones de evaluación colaborativa, lo que permitirá contrastar la utilidad y la aplicabilidad del modelo en proyectos reales.

La complementariedad entre ambos enfoques resulta clave. Mientras que el AQF aporta definiciones estandarizadas, criterios de medición y bases teóricas consolidadas, el modelo aquí propuesto amplía esa perspectiva mediante, por un lado, un enfoque operativo que integra procesos de clasificación, validación y priorización en un flujo metodológico unificado. Y, por otro lado, la incorporación de mecanismos de validación colaborativa, que permiten considerar de manera conjunta las perspectivas de usuarios, POs y desarrolladores. Uno de estos mecanismos estará asociado a la posibilidad de automatización mediante inteligencia artificial, lo cual extiende la aplicabilidad del marco hacia escenarios de mayor escala y dinamismo.

## 4. Propuesta de automatización de componentes del modelo

El modelo presentado en la sección anterior constituye una primera aproximación conceptual, cuyos criterios se alinean con el Agile Quality Framework (AQF). Sin embargo, es importante destacar que aún no ha sido validado empíricamente; en esta etapa se plantean únicamente estrategias y lineamientos para su futura validación y puesta en práctica.

Para posibilitar esa evolución, y en continuidad con lo señalado en la sección 3.3 respecto de la posibilidad de automatización, se propone una arquitectura preliminar en la que la automatización ocupa un lugar central (ver Figura 1). Dicha arquitectura se organiza en torno a un *kernel* u orquestador, concebido como el componente encargado de articular de manera coherente los distintos módulos del modelo: clasificación, validación, priorización y enriquecimiento de requerimientos. El orquestador no busca reemplazar el análisis humano, sino coordinar los procesos definidos, garantizar la trazabilidad de los resultados y ofrecer una visión integrada que facilite la toma de decisiones.

El kernel cumple la función de orquestador, redirigiendo cada tarea hacia modelos de inteligencia artificial especializados, incluidos modelos generativos de propósito general como GPT[1] u otros, según el tipo de análisis requerido. De esta manera, la arquitectura se concibe como un sistema de múltiples agentes

[1] https://openai.com/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



coordinados, donde el kernel centraliza la gestión, controla la comunicación entre módulos y asegura la coherencia de los resultados obtenidos. Esta estrategia no solo favorece la modularidad y extensibilidad del sistema, sino que también permite aprovechar las fortalezas de distintos enfoques de IA para tareas específicas, manteniendo al mismo tiempo una visión unificada del proceso.

Cada requerimiento ingresado al sistema es recibido por el kernel, que se encarga de derivarlo al módulo o modelo de IA correspondiente y de consolidar las salidas en un análisis global que incluye indicadores de calidad, observaciones contextuales y recomendaciones de mejora. El flujo no se concibe como rígido, sino como un proceso iterativo y adaptable, en el que el orquestador regula las interacciones entre los módulos y asegura que los resultados parciales se integren en una salida final coherente.

Esta propuesta arquitectónica no constituye todavía una validación del modelo, pero sí un paso metodológico necesario para preparar las condiciones en las que dicha validación podrá llevarse a cabo. En este sentido, el kernel se presenta como el elemento central de un marco integral que vincula la definición conceptual del modelo con su posible aplicación práctica, habilitando escenarios de experimentación controlada y de evolución futura hacia un agente inteligente especializado en la gestión de requerimientos ágiles.

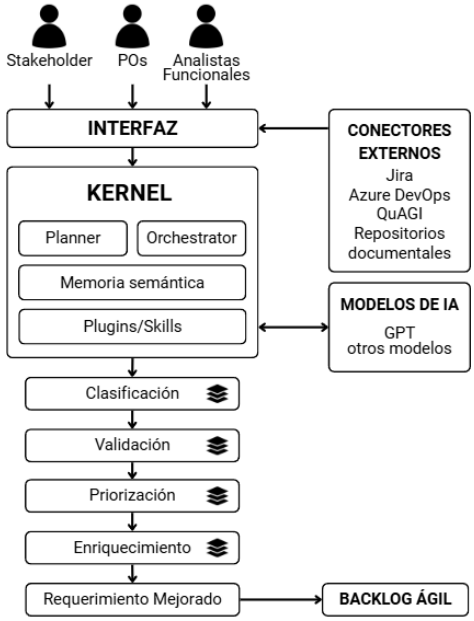



**Figura 1. Arquitectura de la tecnología propuesta**

## 4.1. Funcionalidades de la herramienta

El kernel actúa como núcleo operativo de la arquitectura, coordinando el ciclo de vida de cada requerimiento desde su ingreso hasta su consolidación final en el backlog. Bajo este esquema, el sistema no se limita a ejecutar tareas aisladas, sino que articula un conjunto de módulos especializados que permiten aplicar de forma práctica los criterios definidos en el modelo conceptual.

Entre sus principales funcionalidades se destacan: la clasificación automática de requerimientos, la validación de atributos de calidad, la asignación de prioridades y el enriquecimiento textual. Estas capacidades operan de manera integrada para garantizar que cada requerimiento sea analizado de forma sistemática y consistente.

El flujo comienza con la captura de requerimientos, ya sea mediante un formulario manual o a partir de la importación desde herramientas de gestión como Jira[2], Azure DevOps[3] o QuAGI[4]. Una vez ingresada la información, el kernel asigna el requerimiento al módulo correspondiente, asegurando que el análisis se realice con los enfoques más adecuados según el tipo de tarea.

Los resultados parciales obtenidos en cada módulo se integran en una evaluación unificada que incluye métricas objetivas, indicadores de calidad y recomendaciones prácticas. Esta consolidación, centralizada por el kernel, proporciona a analistas, POs y equipos de desarrollo una visión integral que facilita la toma de decisiones fundamentadas.

## 4.2. Características técnicas

El kernel constituye el núcleo operativo de la arquitectura propuesta y es el componente que traduce el modelo conceptual definido en la Sección 3 en un proceso ejecutable dentro de la herramienta. Mientras que el modelo establece los criterios de calidad, métricas y procedimientos para evaluar requerimientos ágiles, el kernel se encarga de operacionalizarlos al coordinar los módulos que los implementan de manera automatizada. De esta forma, se establece una relación directa entre el plano teórico y el práctico: el modelo define qué debe hacerse y el kernel asegura cómo se lleva a cabo.

En primer lugar, el kernel funciona como motor de enrutamiento inteligente, aplicando los criterios definidos en el modelo conceptual para decidir qué módulo debe intervenir en cada etapa. Por ejemplo, si un requerimiento debe ser clasificado, el kernel invoca el módulo de clasificación que aplica las categorías tipológicas (funcional, no funcional, técnico, de negocio) y las dimensiones de complejidad, dependencias e impacto definidas en la Sección 3.1.1. De manera análoga, si se trata de validar atributos de calidad, el orquestador

[2] https://jira.atlassian.com/
[3] https://azure.microsoft.com/es-es/products/devops
[4] http://quagi.frre.utn.edu.ar/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



redirige el requerimiento al módulo correspondiente que aplica las métricas establecidas en la Sección 3.1.2.

En segundo lugar, el kernel cumple un rol de gestor de contexto y trazabilidad. Al igual que en el modelo conceptual se subrayaba la importancia de mantener coherencia y registros consistentes, el kernel conserva los resultados intermedios de cada análisis (clasificación, validación, priorización) y los integra en una línea de tiempo trazable. Esto permite a los equipos visualizar no solo la evaluación final, sino también cómo cada criterio del modelo fue aplicado y qué modificaciones se propusieron en cada ciclo.

Asimismo, el kernel actúa como integrador de salidas heterogéneas, unificando resultados que provienen de los distintos componentes del modelo conceptual. Así, los valores numéricos derivados de métricas de validación, las etiquetas asignadas en la clasificación o las categorías de prioridad definidas en la Sección 3.1.3 convergen en un reporte consolidado. Dicho reporte reproduce la lógica de la plantilla estandarizada de salida propuesta en la Sección 3.2.5, pero generada de manera automática por el orquestador.

Un aspecto distintivo de esta arquitectura es la capacidad del kernel de funcionar como middleware de orquestación de IA. Mientras que el modelo conceptual define las dimensiones y atributos a evaluar, el kernel determina qué motor de inteligencia artificial es el más adecuado para operacionalizar cada criterio. Por ejemplo, un modelo generativo como GPT puede utilizarse para analizar la claridad semántica o reformular un requerimiento ambiguo, mientras que otros algoritmos pueden encargarse de calcular métricas de completitud o consistencia. El orquestador no solo coordina estas interacciones, sino que asegura que los resultados sean interpretados y devueltos en el marco de las categorías definidas en el modelo conceptual.

Finalmente, el kernel se diseña bajo principios de modularidad y extensibilidad, lo cual replica la flexibilidad del modelo conceptual, pensado como un marco adaptable a distintos contextos ágiles. Así, la arquitectura permite incorporar nuevos criterios de calidad, añadir métricas emergentes o integrar módulos adicionales sin alterar el flujo central. Esto refuerza la relación estrecha entre el modelo teórico y su implementación práctica, garantizando que la herramienta pueda evolucionar en paralelo con la investigación y las necesidades de la industria.

En síntesis, el kernel no es un componente aislado de soporte tecnológico, sino el vehículo que transforma el modelo conceptual en un proceso operativo. Su capacidad para enrutar tareas, preservar contexto, integrar resultados y orquestar modelos de inteligencia artificial asegura que los principios definidos en la Sección 3 puedan aplicarse de manera práctica, coherente y escalable en entornos reales de desarrollo ágil.

### 4.3. Proyección futura: hacia un agente inteligente especializado

La implementación de la arquitectura propuesta requiere definir un conjunto de decisiones técnicas que aseguren su viabilidad, escalabilidad y adecuación a los objetivos planteados por el modelo conceptual. En este sentido, el kernel no solo coordina los módulos, sino que también se apoya en una infraestructura tecnológica que habilita la aplicación de los criterios de calidad definidos en la Sección 3.

En primer lugar, el desarrollo del sistema demanda la selección de lenguajes y frameworks que favorezcan la modularidad y el mantenimiento a largo plazo. Tecnologías robustas para el backend, combinadas con frameworks modernos para el frontend, permitirán construir una herramienta interactiva y escalable, capaz de integrarse en los flujos de trabajo reales de los equipos ágiles. De forma complementaria, el almacenamiento de la información debe estructurarse en repositorios que registren tanto los requerimientos como sus historiales de análisis y refinamiento. Este repositorio se concibe como un componente estratégico, ya que no solo soporta la trazabilidad de las evaluaciones, sino que también constituye la base para procesos de aprendizaje incremental en los modelos de IA involucrados.

Un segundo aspecto técnico central es la incorporación de técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP). Estas técnicas se utilizarán para operacionalizar los atributos de calidad definidos en el modelo conceptual, en especial aquellos vinculados con la claridad, la no ambigüedad y la completitud de los requerimientos. El uso de NLP permitirá analizar en tiempo real el texto de los requerimientos, detectar inconsistencias y generar reformulaciones o sugerencias que mejoren la calidad del enunciado.

En tercer lugar, la interoperabilidad constituye un requisito indispensable. El kernel debe habilitar la integración con herramientas de gestión de proyectos como Jira, Azure DevOps o QuAGI, de manera que los equipos puedan beneficiarse de las funcionalidades de la arquitectura sin modificar drásticamente sus entornos de trabajo. Para ello, se plantea el uso de APIs estandarizadas que faciliten el intercambio de información y la sincronización de requerimientos entre sistemas.

Desde la perspectiva de proyección futura, esta arquitectura preliminar abre el camino hacia la construcción de un agente inteligente especializado en análisis de requerimientos. Dicho agente podría evolucionar a partir de la infraestructura actual, incorporando capacidades de aprendizaje continuo y adaptación a contextos particulares de cada organización o proyecto. En este escenario, el kernel se erigiría como mediador entre los criterios del modelo conceptual y las decisiones autónomas del agente, garantizando que la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



evolución tecnológica no implique una desvinculación de los principios teóricos que sustentan la propuesta.

La combinación de modularidad, trazabilidad, procesamiento de lenguaje natural e interoperabilidad configura una base tecnológica alineada con los principios del modelo conceptual. Esta infraestructura preliminar sienta las condiciones necesarias para su implementación práctica y, al mismo tiempo, prepara el terreno para futuras instancias de validación empírica y evolución hacia sistemas más autónomos de apoyo a la gestión de requerimientos.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

El trabajo presentado constituye una primera aproximación a un marco de calidad para la gestión de requerimientos en entornos ágiles, estructurado en torno a tres componentes principales: clasificación, validación y priorización. La propuesta avanza respecto de antecedentes como el Componente N° 4 del modelo QuAM al integrar no solo criterios de calidad conceptuales, sino también métricas operativas y una plantilla de salida que sistematiza los resultados. De este modo, se ofrece una estructura que combina atributos cuantificables con lineamientos prácticos para la evaluación y mejora de los requerimientos desde etapas tempranas del desarrollo.

El modelo contribuye a la literatura de Ingeniería de Software Empírica al plantear un flujo metodológico integral que articula tanto la evidencia previa –derivada de revisiones sistemáticas y encuestas– como mecanismos de medición que permiten establecer índices de calidad observables y reproducibles. La propuesta de incorporar un kernel como orquestador de los distintos módulos abre, además, un camino hacia la automatización y la interoperabilidad con herramientas de uso extendido en la industria, lo cual refuerza la aplicabilidad práctica del enfoque.

No obstante, esta investigación se encuentra aún en una fase conceptual y requiere de instancias posteriores de validación. Entre los trabajos futuros se destacan: (i) la aplicación del modelo en estudios de caso controlados que permitan verificar su pertinencia y robustez en contextos reales; (ii) el desarrollo de prototipos de la herramienta que operacionalicen el kernel y los módulos de clasificación, validación y priorización; (iii) la incorporación de técnicas de procesamiento de lenguaje natural para evaluar atributos como claridad, completitud y consistencia; y (iv) la evolución hacia un agente inteligente especializado en gestión de requerimientos, capaz de aprender de interacciones previas y adaptarse a contextos particulares de proyecto.

En síntesis, el marco propuesto constituye un paso inicial hacia la mejora sistemática de los procesos de gestión de requerimientos en entornos ágiles. Su consolidación a través de validaciones empíricas y desarrollos tecnológicos permitirá evaluar de manera más precisa cómo la calidad de los requerimientos incide en la calidad tanto del proceso como del producto de software, contribuyendo a cerrar la brecha entre investigación académica y práctica industrial.

## Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en las actividades relacionadas con el Proyecto de Investigación “Métodos, técnicas y herramientas para mejorar y evaluar la calidad de requisitos en proyectos ágiles de Software” (PID SIECRE0008643) financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, ambos en la órbita del Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC) de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional.

Agradecemos el invaluable aporte de los docentes investigadores, miembros del proyecto nombrado anteriormente, Dr. César Acuña y al Ing. Nicolás Tortosa.

## Referencias

[1] Gupta, A., Poels, G., & Bera, P., “Using Conceptual Models in Agile Software Development: A Possible Solution to Requirements Engineering Challenges in Agile Projects”, IEEE Access, 10, 2022, pp. 119745-119766.

[2] Franch, X., Palomares, C., Quer, C., Chatzipetrou, P., & Gorschek, T., “The state-of-practice in requirements specification: an extended interview study at 12 companies”, Requirements Engineering, 28(3), 2023, pp. 377-409.

[3] digital.ai, “17th State of Agile Report”, 2024, https://info.digital.ai/rs/981-LQX-968/images/RE-SA-17th-Annual-State-Of-Agile-Report.pdf

[4] Meckenstock, J. N., “Shedding light on the dark side – A systematic literature review of the issues in agile software development methodology use”, Journal of Systems and Software, 211, 2024, p. 111966.

[5] Muhammad, A. P., Knauss, E., Batsaikhan, O., Haskouri, N. E., Lin, Y. C., & Knauss, A., “Defining Requirements Strategies in Agile: A Design Science Research Study”, en International Conference on Product-Focused Software Process Improvement (PROFES 2022), Jyväskylä, Finland, 21 al 23 de noviembre de 2022, pp. 73-89.

[6] Zelkowitz, M., & Wallace, D., “Experimental validation in software engineering”, Information and Software Technology, 39(11), 1997, pp. 735-743.

[7] Basili, V., Shull, F., & Lanubile, F., “Building knowledge through families of experiments”, IEEE Transactions on Software Engineering, 25(4), 1999, pp. 456-473.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[8] Tomaselli, G. P., Pinto, N. S., & Acuña, C., "Requirements management methods and practices for improving the quality of agile software development processes: a review of the literature", Requirements Engineering, 2025. https://doi.org/10.1007/s00766-025-00448-3

[9] Tomaselli, G., Pinto, N., Acuña, C., Martínez, D., & Ferrazzano, A., "Aplicación de Técnicas de Ingeniería de Software Empírica para Relevar Prácticas Actuales en la Gestión de Requerimientos Ágiles", en Memorias 12vo. Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI 2024), Catamarca, 7 y 8 de noviembre de 2024, pp. 627-637.

[10] Pressman, R., & Maxim, B. (2020). Software Engineering: A Practitioner's Approach (9th ed.). McGraw-Hill Education, New York, USA.

[11] Sommerville, I. (2016). Software Engineering (10th ed.). Pearson Education, Harlow, UK.

[12] ISO/IEC/IEEE. (2018). ISO/IEC/IEEE 29148:2018 – Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering. International Organization for Standardization (ISO), International Electrotechnical Commission (IEC) and Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Geneva, Switzerland. Disponible en: https://www.iso.org/standard/72089.html

[13] Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., … Thomas, D. (2001). Manifesto for Agile Software Development. Disponible en: https://agilemanifesto.org

[14] Cohn, M. (2004). User Stories Applied: For Agile Software Development. Addison-Wesley Professional, Boston, MA, USA.

[15] Boehm, B., & Basili, V. R. (2005). Software Defect Reduction Top 10 List. In V. R. Basili, C. R. V. Oliveira, F. Q. da Silva, A. C. C. de Melo, & J. C. Carver (Eds.), Foundations of Empirical Software Engineering: The Legacy of Victor R. Basili (pp. 426–431). Springer, Berlin, Germany.

[16] Wiegers, K., & Beatty, J. (2013). Software Requirements (3rd ed.). Microsoft Press, Redmond, WA, USA.

[17] Kotonya, G., & Sommerville, I. (1998). Requirements Engineering: Processes and Techniques. Wiley Publishing, Chichester, UK.

[18] ISO/IEC. (2023). ISO/IEC 25010:2023 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Product quality model. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland. Disponible en: https://www.iso.org/standard/78176.html

[19] CMMI Institute. (2023). CMMI® Version 3.0 – Capability Maturity Model Integration: A Process Improvement Framework. Pittsburgh, PA: CMMI Institute. Disponible en: https://cmmiinstitute.com/

[20] Pinto N, Acuña C, Cuenca Pletsch LR (2016) Quality Evaluation in Agile Process: A First Approach. In: XXII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2016), pp. 525-534.

[21] Pinto N, Tomaselli G, Acuña C, Cuenca Pletsch L (2017) QuAGI: Una propuesta para el seguimiento y evaluación de proyectos de Software Ágiles. In: V Seminário Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação (SABTIC 2017), pp 127-136. SETREM - Sociedade Educacional Três de Maio. https://doi.org/10.5281/zenodo.583174

[22] IEEE. (1998). IEEE Std 830-1998 — IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA. Disponible en: https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1998.88286

[23] Clegg, D., & Barker, R. (1994). Case Method Fast-Track: A Rad Approach. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA.

[24] Waters, K. (2009). Prioritization using MoSCoW. Agile Planning, 12(31).

[25] Cohn, M. (2005). Agile Estimating and Planning. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.

[26] Pinto N, Tortosa N, Geat BC, Ibáñez L, Bollati V (2018) Quality evaluation of agile processes: Measurement of requirements management using AQF v2. In: 11th International Conference on the Quality of Information and Communications Technology (QUATIC 2018), pp 15-20. IEEE.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Ludificación en la Captura de Métricas para la Gestión de Proyectos

*Patricia R. Cristaldo[1], Daniela López De Luise, Lucía I. Thea[1], Luciana G. Valiente[1]*

*(1) GIBD - Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay*

*(2) Computational Intelligence & Information Systems Lab, Buenos Aires*

cristaldop@frcu.utn.edu.ar, daniela_ldl@ieee.org, thealuciaines@gmail.com, valientelucianagabriela@gmail.com

## Resumen

*El involucramiento de las partes interesadas en formular el alcance completo de un proyecto de tecnologías de la información (TI) es crucial para su desarrollo y para los gestores del mismo. El uso de técnicas ludificadas ha ayudado significativamente en varios campos y se está introduciendo en la gestión de proyectos.*

*El objetivo de este trabajo es mostrar la aplicación de técnicas de ludificación que ayuden a la descripción del alcance de un proyecto. En función de lo mismo el alcance de este artículo no incluye métricas de evaluación ni comparaciones estadísticas con alternativas fuera de la revisión de la literatura. Como resultado de dicha compilación, es posible generar un documento técnicamente de calidad. Esta propuesta se basa en un sistema de medición integral para la evaluación de la gestión de proyectos, fundamentado en métricas derivadas de técnicas asociadas al procesamiento de lenguaje natural y destinadas a traducir los requerimientos textuales en parámetros de gestión.*

*Los resultados admiten confirmar que la ludificación facilita la adquisición de suficiente información, motiva a los interesados, y permite completar un documento formal a través de un juego.*

***Palabras clave: ludificación, gestión de proyectos, Godot Engine.***

## I. INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos de software involucra conocimientos científicos y habilidades gerenciales, combinando aptitudes técnicas y ejecutivas. Esto implica desempeñar diversas funciones, como liderazgo, planificación, seguimiento y control de actividades, administración de requisitos del proyecto y consideraciones empresariales. En este sentido, la dirección de proyectos debe abarcar tanto las actividades de gestión como las funciones tecnológicas. Existen numerosas tecnologías y guías disponibles en la comunidad que proporcionan orientación en este campo, incluyendo PMBOK [1], PRINCE2 [2][3], APM [4], ISO 21500 [5], SCRUM [6][7], KANBAN [8], CRISP-DM [9][10]. El objetivo primordial de una gestión de proyectos efectiva es lograr un producto exitoso dentro de los plazos y costos previstos [11]. Según algunos informes, solo el 29% de los proyectos logró cumplir con los plazos, el presupuesto y los requisitos de funcionalidad. Aproximadamente el 37% no cumplió con al menos una de estas dimensiones clave. El informe señala que casi el 52% de todos los proyectos sufrió retrasos, sobrecostos o no cumplió con todos los requisitos [12]. Estas estadísticas representan un aumento del 10% con respecto a las cifras de 2010. Además, el 19% de los proyectos se completaron sin entregar un producto funcional. Los proyectos de software requieren una gestión precisa tanto de los aspectos técnicos como de los gerenciales para tener éxito. A pesar de la disponibilidad de diversas metodologías, aún persisten desafíos en el camino hacia la ejecución efectiva de proyectos dentro de los límites de tiempo y costos establecidos, así como las expectativas de los usuarios. Entre las razones se incluyen una planificación deficiente [13][14][15], definición inadecuada de requisitos [16][17][18], falta de habilidades, problemas de disciplina en la gestión y liderazgo insuficiente [19]. La ludificación ha surgido como una estrategia reciente para abordar la falta de compromiso y formalidad en la gestión de proyectos. En los últimos años, se ha investigado ampliamente en el ámbito de los "juegos serios", aplicando conceptos de juegos de video a la educación [20][21], la atención médica [22], el marketing [23][24] y el comportamiento social [25]. Sin embargo, la introducción efectiva de la ludificación como opción sigue siendo un desafío, ya que implica más que simplemente aplicar elementos y herramientas de juegos para entretener [26][27]. Debe incorporar una dinámica de juego específica con un sistema de recompensas, competencia, desafío y autoexpresión que aborde necesidades psicológicas individuales como la autonomía, la relación y la competencia [28][29]. La ludificación logra motivación y compromiso a través de la integración de recompensas, habilidades y una cultura específica, entre otros aspectos [30][31] [32]. En este artículo, se presenta un prototipo diseñado para recopilar información necesaria para un modelo de recomendación de gestión de proyectos, basado en investigaciones previas. El objetivo de esta implementación es ofrecer una experiencia ludificada para completar el alcance de un proyecto, permitiendo a los interesados hacerlo de una forma más atractiva y, a su vez permite recopilar información de mayor calidad. El presente trabajo no abarca el análisis de métricas de desempeño ni la realización de comparaciones estadísticas con otras propuestas, más allá de lo que se aborda en la revisión bibliográfica.

Las secciones que siguen muestran un resumen sumario indicativo de los aspectos de interés acerca del estado de la aplicación de ludificación en la materia de gestión (sección II), presentación de la propuesta (sección III), conclusiones y trabajos futuros (sección IV).

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A pesar de la creciente evolución, la ludificación es todavía un concepto reciente. Es más que un proceso técnico

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de aplicar elementos y herramientas del juego que proporcionen diversión y disfrute [33]. Genera diversas dinámicas de juego, como recompensas, competencia, altruismo y autoexpresión, apoyando la satisfacción de las necesidades psicológicas de las personas, tales como, autonomía, competencia y relaciones interpersonales [34] [35]. La selección de los elementos del juego, como las recompensas y el nivel de competencia, aporta a que las personas se mantengan motivadas y comprometidas [36].

En cuanto a la gestión de equipos, la ludificación juega un papel clave en la coordinación de los miembros del equipo y los altos directivos. Varios estudios sugieren el uso de enfoques de juegos para apoyar el proceso de innovación y la colaboración entre equipos. Puede aplicarse como una práctica de innovación colaborativa que crea oportunidades para apoyar la creatividad colectiva y ayudar a las partes en conflicto a alcanzar un consenso [37]. Por otro lado, permite una autogestión en un equipo con una distribución de poder más equilibrada que brinde igualdad de oportunidades a todos sus miembros [38].

Asimismo, otros autores [39], ilustran las ventajas de implementar componentes de juegos en los proyectos de gestión del conocimiento, permitiendo entre otras cosas, garantizar un adecuado manejo de este recurso, atendiendo aspectos centrales como la motivación humana y la voluntad individual de compartir el conocimiento. La *ludificación* ha demostrado ser un enfoque factible para aumentar la motivación de los empleados.

Por otro lado, un reciente estudio establece que la visión lúdica ofrece una de las soluciones más prometedoras para que los gerentes de proyectos de tecnología de la información innoven sus rendimientos [40]. Sin embargo, la evidencia sobre sus beneficios es aún muy limitada. Por lo que este autor, muestra los beneficios de la concepción de videojuegos para el desempeño general del trabajo y los mecanismos de intermediación a través de los cuales ejerce sus efectos ventajosos. La participación de las personas en este tipo de iniciativas altera favorablemente sus cogniciones, transfiriendo su efecto sobre las actitudes y comportamientos en el lugar de trabajo.

Este trabajo se encuentra alineado al desarrollo y aplicación de métricas para la evaluación transversal de metodologías de gestión de proyectos, a los efectos de minimizar los fracasos de los mismos. Específicamente se propone un juego como interfaz al usuario para gestionar un sistema de métricas de calidad en gestión de proyectos, basada en conceptos de procesamiento de lenguaje natural. Es importante aclarar que esta es una extensión de los propios trabajos publicados y plasmados en una tesis doctoral. [41].

## III. PROPUESTA

El Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos (KDD, por sus siglas en inglés) surge a fines de los 90 a partir [42] [43] y es un proceso que consiste en extraer información relevante y útil a partir de grandes volúmenes de datos.

El proceso de extracción de información para la formulación de métricas para la evaluación integral de metodologías de gestión de proyectos se muestra en la Fig. 1, muestra el *framework* de la propuesta.




FIG.1. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ENUNCIADO DE NEGOCIO A PARTIR DEL USO DE *LUDIFICACIÓN*

El instrumento utilizado para recolectar los requerimientos de los interesados, es una encuesta. Es decir, los interesados utilizando ludificación completan los ítems solicitados por la encuesta y se obtiene como resultado el documento *Enunciado del Negocio,* que contiene el alcance del proyecto. Luego, se aplican métricas desarrolladas y publicadas en trabajos previos [44] y, poder determinar qué metodología de gestión de proyectos aplica de acuerdo con las características del mismo.

A continuación, se describe el módulo de *ludificación* desarrollado a los efectos de facilitar la recopilación de los requerimientos afectados al proyecto y, el módulo de las métricas desarrolladas y aplicadas al documento generado por la aplicación de las técnicas de *ludificación*.

### *A.* MÓDULO DE LUDIFICACIÓN

El módulo de *ludificación* constituye la etapa inicial del sistema. Su finalidad es aportar a los proyectos de software mediante la implementación de un videojuego, cuyos logros y avances se encuentran alineados con los principios del *Octalysis Framework*. Mediante la aplicación de dinámicas de juego, las interacciones complejas se convierten en datos estructurados, que posteriormente son preprocesados y utilizados para el cálculo de métricas de calidad del proyecto. [45].

El videojuego se ha desarrollado con el motor *Godot Engine*, software libre y multiplataforma. Los personajes principales, como el capibara “Cimarrón” y su grupo “Malón”, fueron concebidos para representar de manera simbólica el rol de los usuarios en la narrativa.

En esta sección se describen los objetivos del diseño del módulo, las mecánicas de *ludificación* implementadas, el diseño de niveles y su progresión, así como los resultados obtenidos a partir de su aplicación.

#### *i. Objetivos de diseño del módulo lúdico*

La implementación de mecánicas de juego responde a la necesidad de evitar la apatía en tareas rutinarias, y aumentar la calidad de la información recolectada. Se quiere mantener a los usuarios motivados en una tarea que resultaría monótona, de manera que cada interacción dentro del juego se traduzca en datos medibles.

#### *ii. Mecánicas, dinámicas y elementos de juego*

Dentro de la *ludificación,* uno de los factores centrales, que fomenta la participación activa es la sensación de progreso, la cual se materializa a través de sistemas de recompensas. Estas pueden adoptar diversas formas, como la obtención de objetos virtuales o el desbloqueo de nuevos niveles, elementos que refuerzan la percepción de avance dentro del entorno interactivo. Este mecanismo se vincula estrechamente con la noción de propiedad simbólica, ya que al percibir que poseen o construyen algo, los usuarios desarrollan un sentido de pertenencia que incrementa su motivación intrínseca.

Asimismo, para favorecer la inmersión del usuario se recurre al uso de una banda sonora, junto con una paleta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cromática y una estética coherentes con la temática del juego.

*iii. Assets y recursos visuales*

El videojuego presenta una estética en pixel art bidimensional. Para diseñar al protagonista, un carpincho regional denominado Cimarrón, se elaboró un diseño original, mientras que los entornos fueron creados utilizando recursos de dominio público, que se muestran en la Fig. 2.



FIG.2. SPRITES DE "CIMARRÓN"

*vi. Música*

Para contribuir a la inmersión en videojuego, se acompaña el progreso con piezas musicales originales. Siguiendo la temática, se crearon dos piezas instrumentales de carácter folclórico. Una pieza calma para el menú, créditos y final, y otra pieza dinámica para impulsar al usuario durante el juego.

Para el menú, créditos y final se compuso la pieza "Sendero del Capibara" y como banda sonora principal durante el juego, "Hermano Capibara". Ambas canciones compuestas por Sergio "Nardo" González.

*v. Mecánicas*

Para obtener los elementos necesarios para progresar durante el juego, el usuario introduce información de su proyecto a través de dinámicas narrativas. Cada acción (como lo es ingresar requisitos funcionales o describir restricciones) se traduce a un progreso visible dentro del juego.

Así, la información ingresada por el usuario no solo logra que se avance con la trama, si no que simultáneamente se registran datos relevantes para el análisis posterior.

***Diseño de niveles y progresión***

El videojuego está estructurado por niveles sucesivos, cada uno asociado a un tipo de información necesaria. La progresión es lineal y acumulativa, cada contribución habilita el acceso al siguiente nivel, a la vez que se refuerza la percepción de logro mediante indicadores visuales y narrativos. De esta manera, se combina el avance en el juego con el incremento de los datos obtenidos por las respuestas del usuario.

El objetivo del juego es ayudar al protagonista, "Cimarrón", a cumplir una serie de misiones. Cada nivel introduce un desafío específico, vinculado a distintos tipos de datos o requisitos, de manera que los jugadores deben interactuar con la información del proyecto para avanzar: desde recolectar recursos básicos hasta analizar información compleja y tomar decisiones estratégicas.

La misión de "Cimarrón" consiste en guiar a su "malón" en la búsqueda de tecnología humana con el objetivo de emprender un viaje espacial. La experiencia se desarrolla a lo largo de cinco niveles sucesivos, en los que los jugadores deben aportar diferentes tipos de información vinculada a la gestión de proyectos para superar los desafíos y continuar con la narrativa. En los primeros niveles se recolectan troncos que permiten construir un puente, se accede a una computadora y se obtienen vestimentas que habilitan la búsqueda inicial de información. A medida que la historia progresa, se incorporan planos y reportes generados por inteligencia artificial, además de recursos específicos obtenidos al ingresar requisitos, restricciones y supuestos del proyecto. En los niveles finales, los jugadores deben reunir los objetos de supervivencia listados, ensamblar la nave espacial con las piezas disponibles y comprobar que el inventario contenga todo lo necesario para el despegue. Esta progresión se representa tanto en el plano narrativo como en la acumulación de elementos dentro del inventario, integrando de manera lúdica la recolección de insumos con la aplicación de conocimientos y técnicas propias de la gestión de proyectos.

Lo primero que realiza el usuario es completar sus datos personales antes de que comience la partida (Fig. 3). Los mismos son tomados parcialmente y a los meros fines de realizar un mejor ajuste del perfil del jugador.




FIG. 3. DATOS DE USUARIO

A través de los niveles, el usuario responde a las preguntas que aparecen en pantalla (Fig. 4), obteniendo así los elementos necesarios para ayudar al protagonista a completar su misión.

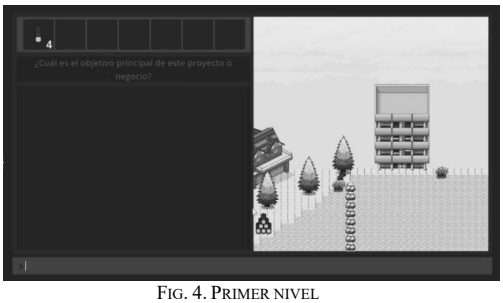



FIG. 4. PRIMER NIVEL

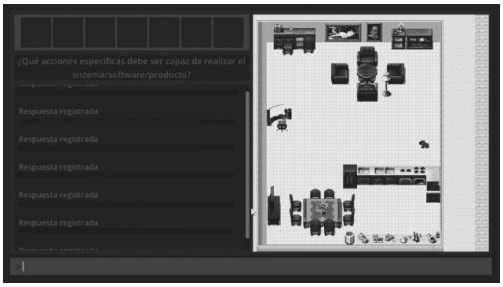



FIG. 5. SEGUNDO NIVEL

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



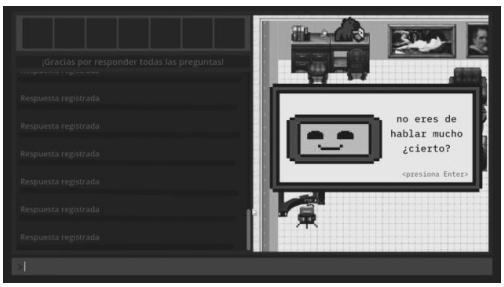



FIG. 6. FINAL DEL TERCER NIVEL

Las respuestas proporcionadas por el usuario se integran progresivamente en el desarrollo del juego, de modo que pueden visualizarse a medida que se avanza en los distintos niveles. Paralelamente, los objetos adquiridos se registran y se acumulan dentro del inventario del protagonista (Fig. 4-6), lo que permite al jugador mantener un seguimiento constante de los recursos obtenidos. Este mecanismo cumple una doble función: por un lado, refuerza la retroalimentación inmediata al mostrar de manera tangible el progreso alcanzado; por otro, establece un vínculo directo entre la información suministrada por el usuario y los logros dentro de la narrativa del juego. Una vez que se han reunido todos los elementos correspondientes a un nivel, este se considera completado y se habilita el acceso al siguiente desafío, manteniendo así la dinámica de progresión lineal y acumulativa que culmina en la finalización del juego.

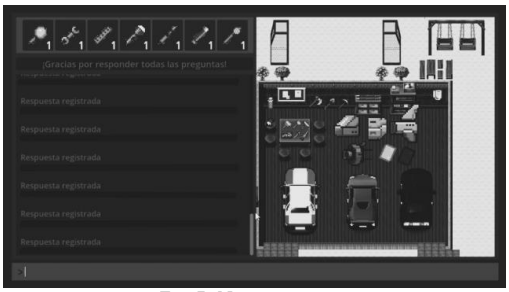


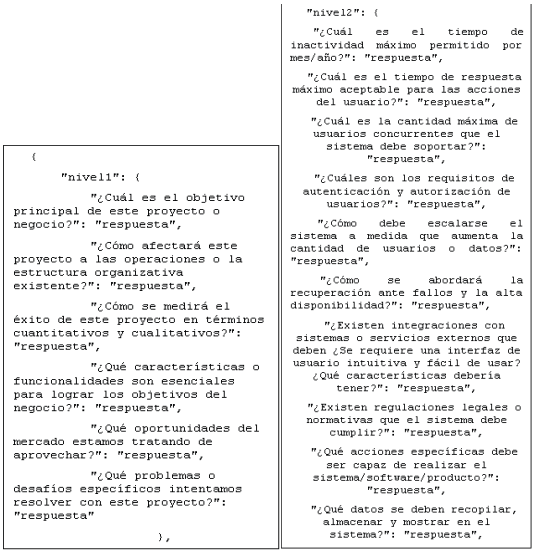

FIG. 7. NIVEL FINAL

Finalmente, al completar todas las preguntas, el usuario logra concluir la misión de manera satisfactoria, asegurando la persistencia de los datos recopilados.

*vi. Persistencia y exportación de datos*

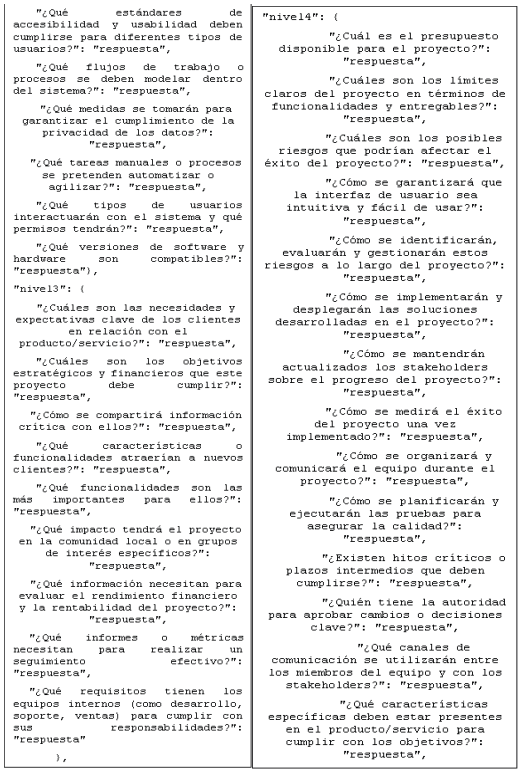
El resultado primordial es un archivo en formato JSON que almacena todas las respuestas cargadas por el usuario. La estructura de este archivo es de tipo anidado: en un primer nivel se organiza la información según la subdivisión por niveles, y en cada uno de ellos se almacenan las preguntas junto con sus respectivas respuestas obtenidas a lo largo de la partida.

En las subsecuentes imágenes (Fig. 7-10) se muestra el formato del archivo de salida, el cual será posteriormente sometido a un proceso de preprocesamiento, tal como se detalla en la sección siguiente.



```
{
    "nivel1": {
        "¿Cuál es el objetivo principal de este proyecto o negocio?": "respuesta",
        "¿Cómo afectará este proyecto a las operaciones o la estructura organizativa existente?": "respuesta",
        "¿Cómo se medirá el éxito de este proyecto en términos cuantitativos y cualitativos?": "respuesta",
        "¿Qué características o funcionalidades son esenciales para lograr los objetivos del negocio?": "respuesta",
        "¿Qué oportunidades del mercado estamos tratando de aprovechar?": "respuesta",
        "¿Qué problemas o desafíos específicos intentamos resolver con este proyecto?": "respuesta"
    },
    "nivel2": {
        "¿Cuál es el tiempo de inactividad máximo permitido por mes/año?": "respuesta",
        "¿Cuál es el tiempo de respuesta máximo aceptable para las acciones del usuario?": "respuesta",
        "¿Cuál es la cantidad máxima de usuarios concurrentes que el sistema debe soportar?": "respuesta",
        "¿Cuáles son los requisitos de autenticación y autorización de usuarios?": "respuesta",
        "¿Cómo debe escalarse el sistema a medida que aumenta la cantidad de usuarios o datos?": "respuesta",
        "¿Cómo se abordará la recuperación ante fallos y la alta disponibilidad?": "respuesta",
        "¿Existen integraciones con sistemas o servicios externos que deben ¿Se requiere una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar? ¿Qué características deberia tener?": "respuesta",
        "¿Existen regulaciones legales o normativas que el sistema debe cumplir?": "respuesta",
        "¿Qué acciones específicas debe ser capaz de realizar el sistema/software/producto?": "respuesta",
        "¿Qué datos se deben recopilar, almacenar y mostrar en el sistema?": "respuesta",
```

FIG. 8. JSON DE SALIDA (NIVELES 1 Y 2)

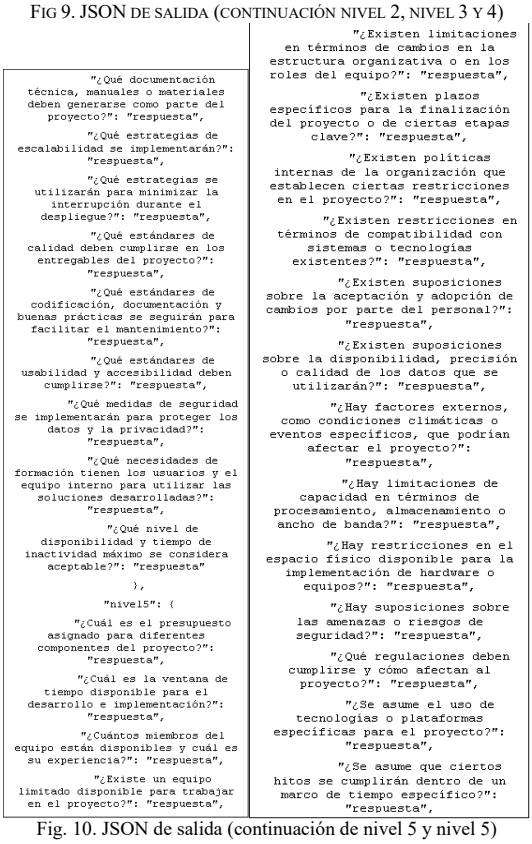


```
        "¿Qué estándares de accesibilidad y usabilidad deben cumplirse para diferentes tipos de usuarios?": "respuesta",
        "¿Qué flujos de trabajo o procesos se deben modelar dentro del sistema?": "respuesta",
        "¿Qué medidas se tomarán para garantizar el cumplimiento de la privacidad de los datos?": "respuesta",
        "¿Qué tareas manuales o procesos se pretenden automatizar o agilizar?": "respuesta",
        "¿Qué tipos de usuarios interactuarán con el sistema y qué permisos tendrán?": "respuesta",
        "¿Qué versiones de software y hardware son compatibles?": "respuesta"),
    "nivel3": {
        "¿Cuáles son las necesidades y expectativas clave de los clientes en relación con el producto/servicio?": "respuesta",
        "¿Cuáles son los objetivos estratégicos y financieros que este proyecto debe cumplir?": "respuesta",
        "¿Cómo se compartirá información crítica con ellos?": "respuesta",
        "¿Qué características o funcionalidades atraerían a nuevos clientes?": "respuesta",
        "¿Qué funcionalidades son las más importantes para ellos?": "respuesta",
        "¿Qué impacto tendrá el proyecto en la comunidad local o en grupos de interés específicos?": "respuesta",
        "¿Qué información necesitan para evaluar el rendimiento financiero y la rentabilidad del proyecto?": "respuesta",
        "¿Qué informes o métricas necesitan para realizar un seguimiento efectivo?": "respuesta",
        "¿Qué requisitos tienen los equipos internos (como desarrollo, soporte, ventas) para cumplir con sus responsabilidades?": "respuesta"
    },
    "nivel4": {
        "¿Cuál es el presupuesto disponible para el proyecto?": "respuesta",
        "¿Cuáles son los límites claros del proyecto en términos de funcionalidades y entregables?": "respuesta",
        "¿Cuáles son los posibles riesgos que podrían afectar el éxito del proyecto?": "respuesta",
        "¿Cómo se garantizará que la interfaz de usuario sea intuitiva y fácil de usar?": "respuesta",
        "¿Cómo se identificarán, evaluarán y gestionarán estos riesgos a lo largo del proyecto?": "respuesta",
        "¿Cómo se implementarán y desplegarán las soluciones desarrolladas en el proyecto?": "respuesta",
        "¿Cómo se mantendrán actualizados los stakeholders sobre el progreso del proyecto?": "respuesta",
        "¿Cómo se medirá el éxito del proyecto una vez implementado?": "respuesta",
        "¿Cómo se organizará y comunicará el equipo durante el proyecto?": "respuesta",
        "¿Cómo se planificarán y ejecutarán las pruebas para asegurar la calidad?": "respuesta",
        "¿Existen hitos críticos o plazos intermedios que deben cumplirse?": "respuesta",
        "¿Quién tiene la autoridad para aprobar cambios o decisiones clave?": "respuesta",
        "¿Qué canales de comunicación se utilizarán entre los miembros del equipo y con los stakeholders?": "respuesta",
        "¿Qué características específicas deben estar presentes en el producto/servicio para cumplir con los objetivos?": "respuesta",
```

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

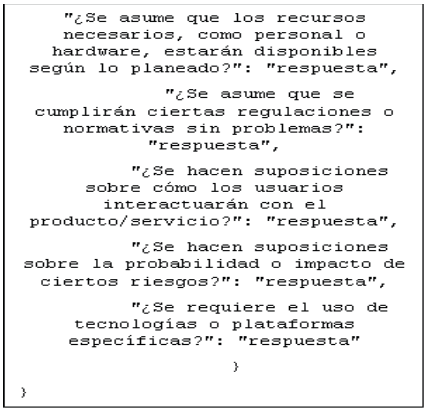


FIG 9. JSON DE SALIDA (CONTINUACIÓN NIVEL 2, NIVEL 3 Y 4)



```
        "¿Qué documentación técnica, manuales o materiales deben generarse como parte del proyecto?": "respuesta",
        "¿Qué estrategias de escalabilidad se implementarán?": "respuesta",
        "¿Qué estrategias se utilizarán para minimizar la interrupción durante el despliegue?": "respuesta",
        "¿Qué estándares de calidad deben cumplirse en los entregables del proyecto?": "respuesta",
        "¿Qué estándares de codificación, documentación y buenas prácticas se seguirán para facilitar el mantenimiento?": "respuesta",
        "¿Qué estándares de usabilidad y accesibilidad deben cumplirse?": "respuesta",
        "¿Qué medidas de seguridad se implementarán para proteger los datos y la privacidad?": "respuesta",
        "¿Qué necesidades de formación tienen los usuarios y el equipo interno para utilizar las soluciones desarrolladas?": "respuesta",
        "¿Qué nivel de disponibilidad y tiempo de inactividad máximo se considera aceptable?": "respuesta"
      },
      "nivel5": {
        "¿Cuál es el presupuesto asignado para diferentes componentes del proyecto?": "respuesta",
        "¿Cuál es la ventana de tiempo disponible para el desarrollo e implementación?": "respuesta",
        "¿Cuántos miembros del equipo están disponibles y cuál es su experiencia?": "respuesta",
        "¿Existe un equipo limitado disponible para trabajar en el proyecto?": "respuesta",
        "¿Existen limitaciones en términos de cambios en la estructura organizativa o en los roles del equipo?": "respuesta",
        "¿Existen plazos específicos para la finalización del proyecto o de ciertas etapas clave?": "respuesta",
        "¿Existen políticas internas de la organización que establecen ciertas restricciones en el proyecto?": "respuesta",
        "¿Existen restricciones en términos de compatibilidad con sistemas o tecnologías existentes?": "respuesta",
        "¿Existen suposiciones sobre la aceptación y adopción de cambios por parte del personal?": "respuesta",
        "¿Existen suposiciones sobre la disponibilidad, precisión o calidad de los datos que se utilizarán?": "respuesta",
        "¿Hay factores externos, como condiciones climáticas o eventos específicos, que podrían afectar el proyecto?": "respuesta",
        "¿Hay limitaciones de capacidad en términos de procesamiento, almacenamiento o ancho de banda?": "respuesta",
        "¿Hay restricciones en el espacio físico disponible para la implementación de hardware o equipos?": "respuesta",
        "¿Hay suposiciones sobre las amenazas o riesgos de seguridad?": "respuesta",
        "¿Qué regulaciones deben cumplirse y cómo afectan al proyecto?": "respuesta",
        "¿Se asume el uso de tecnologías o plataformas específicas para el proyecto?": "respuesta",
        "¿Se asume que ciertos hitos se cumplirán dentro de un marco de tiempo específico?": "respuesta",
```

Fig. 10. JSON de salida (continuación de nivel 5 y nivel 5)



```
        "¿Se asume que los recursos necesarios, como personal o hardware, estarán disponibles según lo planeado?": "respuesta",
        "¿Se asume que se cumplirán ciertas regulaciones o normativas sin problemas?": "respuesta",
        "¿Se hacen suposiciones sobre cómo los usuarios interactuarán con el producto/servicio?": "respuesta",
        "¿Se hacen suposiciones sobre la probabilidad o impacto de ciertos riesgos?": "respuesta",
        "¿Se requiere el uso de tecnologías o plataformas específicas?": "respuesta"
      }
}
```

FIG. 11. JSON DE SALIDA (CONTINUACIÓN DE NIVEL 5)

### *B.* MÓDULO DE MÉTRICAS

El módulo de métricas transforma los textos del Enunciado de Negocios (*output* del módulo de ludificación) en representaciones sintácticas y cuantificables que permiten calcular las métricas de calidad propuesta en este trabajo.

En esta sección se describe el procesamiento del archivo en formato JSON, que contiene las respuestas de los usuarios, la generación de los *parse trees*, las etiquetas (tags) y los archivos de complejidades. Para cada pregunta se genera un archivo con el correspondiente árbol, otro archivo con sus tags y otro de complejidades. Finalmente se presenta la implementación del marco de medición, cuyo código utiliza dichos artefactos para calcular las métricas propuestas en un trabajo de tesis doctoral. [41]

#### *i. Preprocesamiento*

En esta sección del módulo, se transforma al o los JSON existentes resultantes del módulo de ludificación en los archivos con el formato correcto para la posterior generación de los árboles sintácticos y el cálculo de métricas.

Es un simple script de python utilizando las librerías JSON y Pandas. Para cada archivo JSON existente, el resultado es un único *.xlsx* y un archivo *.csv* que contiene la información de él o los archivos.

El primer paso del módulo consiste en transformar las respuestas almacenadas en formato JSON en estructuras tubulares compatibles con el proceso de análisis sintáctico. Cada archivo JSON contiene la información jerárquica de una empresa, organizada en niveles de preguntas. El preprocesamiento normaliza esta jerarquía, identifica y ordena las preguntas en función de sus niveles, y unifica el conjunto de respuestas provenientes de las distintas empresas.

Como resultado se generan tablas que cumplen dos propósitos principales, una representación orientada a preguntas, en la que cada fila corresponde a un enunciado y cada columna a las respuestas de las diferentes empresas, y otra representación orientada a empresas, en la que cada fila reúne todas las respuestas de una "partida" del módulo de ludificación.

De este modo, el preprocesamiento entrega un conjunto de textos normalizados y alineados por pregunta y empresa, listos para ser segmentados en oraciones y enviados al analizador sintáctico. Este paso es fundamental para asegurar que el cálculo de las métricas posteriores se base en un corpus coherente y comparable entre documentos.

Una vez obtenidas estas estructuras tabulares, cada enunciado se segmenta y se somete al análisis sintáctico, dando inicio a la generación de los *parse trees*, a partir de los cuales se derivan las etiquetas y producciones utilizadas en el cálculo de las métricas.

#### *A. Árboles*

Los *parse tree* son una representación sintáctica (árbol de constituyentes) de cada texto para poder medir estructura (nodos, profundidad, producciones) y derivar métricas: representan la estructura jerárquica de cada oración en términos de constituyentes (S, NP, VP, entre otros), permiten distinguir nodos no terminales y hojas terminales, y facilitan el cálculo de atributos estructurales como número de nodos, profundidad y subárboles relevantes para el análisis de requisitos. Desde el punto de vista teórico, estas estructuras se usan para formalizar la pertenencia de cada palabra a una gramática $G$ y a una categoría lingüística, y para derivar expresiones en forma de reglas de producción que luego sirven como insumos de las métricas (por ejemplo, GradAmb o CVR) [41].

En la implementación del prototipo, el texto objeto de análisis se obtiene previamente mediante la función *obtenerCorpus* que agrupa las respuestas por pregunta/empresa en el *DataFrame* de entrada; este paso garantiza que el análisis se aplique a la unidad documental pertinente (pregunta por empresa). A partir del texto así obtenido, el módulo de *parsing* invoca un servidor CoreNLP a través de *CoreNLPParser* y ejecuta parser.raw_parse(texto) para obtener la representación en árbol de cada oración (Fig. 12).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



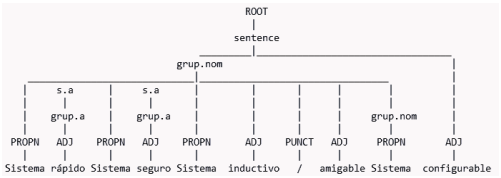



FIG. 12. EJEMPLO

*C. Etiquetas*

Las etiquetas (POS tags) se extraen directamente de cada nodo terminal del *parse tree* y se utilizan para caracterizar la densidad y distribución de categorías léxicas (sustantivos, verbos, adjetivos, etc.) en los enunciados (figura 10) . En términos metodológicos, la información de POS es crítica para métricas como GradConc (que relaciona número de sustantivos y verbos con el total de palabras) y para componentes de CVR que cuantifican la presencia de elementos claves en el enunciado. Además, el recuento de adjetivos es un insumo directo para la medida de ambigüedad. Estos vínculos entre las etiquetas extraídas y las fórmulas métricas están descritos en la especificación teórica del trabajo.

```
{"PROPN":    4,    "ADJ":    5,
"PUNCT": 1}
```

FIG. 13. ETIQUETAS ÁRBOL DE LA FIG. 12

*D. Producciones*

Las producciones gramaticales se obtienen a partir de la estructura del árbol y constituyen la unidad operacional para medir la complejidad sintáctica de un enunciado (Fig. 13). Teóricamente, el conjunto y la frecuencia de producciones reflejan la profundidad estructural y el grado de anidamiento de la información expresada en el requisito; por ello, el recuento total de producciones se utiliza como *proxy* directo de complejidad en el marco de métricas. En el proceso de extracción se obtiene, para cada oración, la lista de producciones derivadas del árbol y se cuantifica su longitud; dichas cantidades se registran por oración y se pueden agregar a nivel de enunciado o de documento. La elección de computar la complejidad por oración (en lugar de solo por documento) permite identificar segmentos de un mismo requisito con distinta carga estructural, lo que resulta útil para distinguir requisitos extensos con fragmentos muy complejos de aquellos enunciados que son homogéneamente sencillos. Estas medidas de complejidad se integran con los recuentos de etiquetas y con las demás propiedades estructurales para computar las métricas compuestas que se analizan en los capítulos empíricos del trabajo.

```
Complejidades: 18
```

Fig. 14. Complejidad árbol de la Fig. 12

*ii. Métricas de Gestión de Proyectos*

Entre las métricas desarrolladas oportunamente y publicadas [44] se seleccionaron para el presente estudio las siguientes:

*1.Graduación de Ambigüedad (GradAmb)*

La descripción de requisitos mediante una sola interpretación extrapolando adjetivos calificativos y no calificativos. Se evalúa la borrosidad de la semántica.

**GradAmb= (nro. nodos adj.) + nro. nodos**

Esta métrica mide el nivel de ambigüedad en la reducción de requisitos. se basa en la cantidad de adjetivos y número total de nodos del árbol sintáctico resultado de la respuesta del usuario. estos elementos suelen introducir subjetividad y multiplicidad a las interpretaciones.
Permite evaluar la claridad semántica de los requisitos y detectar posibles ambigüedades que puedan generar interpretaciones erróneas o conflictos durante la gestión del proyecto.
Cuanto mayor sea la ambigüedad, más difícil será asegurar que todos los interesados comprendan y acuerden sobre lo que realmente se debe construir.

*2. Criterios de Validación de Requerimientos (CVR)*

Es una evaluación numérica de varias características del *Parse Tree* que representa el documento *Enunciado del Negocio* (misión, visión, alcance). A partir de las apreciaciones y parámetros se define:

***CVR=p(nec).nec+p(conc).conc+p(comp).comp + p(cons).cons+ p(amb).amb+p(verif).verif***

Esta métrica evalúa la calidad de los requisitos del proyecto a través de un análisis numérico del *parse tree* (estructura gramatical del documento del Enunciado del Negocio: misión, visión, alcance). considera aspectos como necesidad, concisión, completitud, consistencia, ambigüedad y verificabilidad.
Permite determinar si los requisitos están bien formulados y cumplen con las características esenciales para ser útiles en la gestión del proyecto. un alto valor de CVR asegura que los requisitos sean claros, coherentes, verificables y alineados con los objetivos, reduciendo riesgos de malentendidos o fallas en el desarrollo.

*3. Graduación de Conciso (GradConc)*

Esta métrica, representa la eficiencia de la reducción en la expresión lingüística. Se basa en los recuentos de sustantivos combinados con la misma tasa para los verbos. La descripción del documento *Enunciado del Negocio* debe contener una cantidad de sustantivos igual a los contenidos en el alcance del proyecto, y que se repiten en el árbol de requisitos, ídem para verbos.

***GradConc= (nro. sustantivos)+(nro. verbos)/ nro. palabras descripción del alcance***

Mide qué tan concisa es la redacción de los requisitos, evaluando la eficiencia en el uso del lenguaje. Se calcula a partir de la proporción de sustantivos y verbos respecto al total de palabras en la descripción del alcance.

Favorece la claridad y evita redundancias en la documentación. un mayor grado de concisión asegura que los requisitos sean directos, fáciles de interpretar y están expresados sin exceso de palabras innecesarias, lo cual mejora la comunicación entre los interesados del proyecto.

*iiiii. Código fuente*

En las Fig. 16 a 19 se presentan el código fuente que representa a las métricas seleccionadas que hacen uso de los archivos generados en las secciones anteriores para calcular las métricas GradAmb, CVR y finalmente GradConc.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



```
def calcular_grad_amb(tags: dict) ->
float:
    """
    Calcula la Graduación de Ambigüedad
para un conjunto de tags

    Args:
        tags: Diccionario de conteo de
categorías gramaticales

    Returns:
        float: Valor de GradAmb = (nro.
nodos adj.) + nro. nodos
    """
    total_nodos = sum(tags.values())
    nodos_adj = tags.get('ADJ', 0)
    return nodos_adj + total_nodos
```

FIG. 16. GRADO DE AMBIGÜEDAD

```
def calcular_cvr(tags:dict,
complejidades:int, risk_level: str) ->
float:
    """
    Calcula CVR
    Args:
        tags: Diccionario de conteo de
categorías gramaticales
        complejidades: Complejidad del
árbol sintáctico (número de nodos)
        risk_level: Nivel de riesgo
("alto", "neutral", "bajo")
    Returns:
        float: Valor de CVR
    """
    # --- p(nec) según nivel de riesgo ---
    p_nec_map = {"alto": 1.0, "neutral":
0.5, "bajo": 0.1}
    p_nec =
p_nec_map.get(risk_level.lower(), 0.5)
    nec = 1  # nec = 1, no se especifica
en el enunciado
```

FIG. 17. CRITERIOS DE VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS

```
    # suma de valores en tags + cant tags
    nodos_secundarios =  complejidades - 1
+ r # asumiendo que el nodo raíz no cuenta
como secundario

    p_conc = r / nodos_secundarios if
nodos_secundarios > 0 else 0.0

    # --- p(comp) y comp ---
    nro_fuera_subarbol = complejidades - r
# nodos que no están en el subárbol de
tags + palabras
    n_descendientes = r # sumatoria de los
valores de los tags

    p_comp = nro_fuera_subarbol /
(n_descendientes + nro_fuera_subarbol) if
(n_descendientes + nro_fuera_subarbol) > 0
else 0.0

    verif = sum(tags.values())*2
    p_verif = r / verif if verif > 0 else
0.0

    # --- Cálculo final de CVR ---
    cvr = (
        p_nec  +
        p_conc  +
        p_comp  +
        p_verif  +
        + p_amb
    )

    return cvr
```

FIG. 18. CRITERIOS DE VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS

```
def calcular_grad_conc(tag:dict) -> float:
    """
    Cálculo de grado de conciso
    """
    n_sust = tag.get("NOUN", 0)
    n_verb = tag.get("VERB", 0)
    total_palabras= sum(
        count for tag, count in
tag.items()
        if tag not in ("PUNCT",)
    )
    grad_conc = (n_sust + n_verb) /
total_palabras if total_palabras > 0 else
0.0
    return grad_conc
```

FIG. 19. GRADO DE CONCISO

## IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este artículo se ha presentado un resultado inicial obtenido por la primera versión del prototipo funcional ludificado. El mismo posee una estructura específica que permite capturar de manera dinámica la información relativa a las primeras etapas de la gestión de proyectos. La obtención sistemática es parte del tratamiento automático que permite la generación de un modelo de perfiles de gestión y permite la evaluación objetiva de las instancias y documentaciones implicadas. Se muestra aquí, una mecánica de *ludificación* para la gestión de proyectos, particularmente para definir el alcance del mismo. En este caso particular se ha utilizado una herramienta de implementación ludificada llamada *Godot Engine*.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Utilizando técnicas de ludificación se ayudó a las personas encargadas de formular el alcance de un proyecto, y cuyos resultados se reflejaron en el documento Enunciado del Negocio. Asimismo, se ha logrado la descripción del alcance del proyecto logrando un trabajo considerablemente más ameno.

Por otro lado, se ha evaluado la mejora en la calidad de los resultados arrojados por las métricas aplicadas, denotando mejoras considerables, aunque las pruebas empíricas son aún insuficientes. Probablemente esto se deba a que a través de la ludificación las personas encargadas de describir un alcance de proyecto, les resulte más entretenido, pudiendo lograr al finalizar el mismo, un documento completo. Es decir, se logra un mayor compromiso de las partes interesadas durante la obtención de los requerimientos.

Se busca mejorar la definición de los alcances de un proyecto utilizando videojuegos serios, de forma tal de estimular la definición de los mismos por parte de los gerentes de proyecto, y lograr mayor compromiso de las partes interesadas durante la obtención de los requerimientos.

A partir de la implementación de los módulos de ludificación, aplicados con distintas plataformas, ampliar las pruebas, evaluar dichos comportamientos y generar las correspondientes estadísticas e informes. Existen varios problemas con el éxito del proyecto debido a deficiencias de gestión. El estado del arte indica que está relacionado con la formalidad y la administración del equipo. Este artículo presenta una recopilación de datos ludificada del estado actual del proyecto. La documentación, la planificación y el seguimiento técnico son exigentes y difíciles. Para superar esos inconvenientes, se deriva de la documentación un modelo con métricas. Entre otras cosas pendientes, queda evaluar estadísticamente los registros de la recopilación de datos ludificados y el análisis de esas estadísticas desde la perspectiva de los hallazgos publicados anteriormente.

En futuros trabajos se propone ampliar la validación empírica del enfoque mediante comparaciones estadísticas con métodos tradicionales, incorporar evaluaciones sistemáticas de usabilidad y experiencia de usuario, realizar estudios longitudinales con una muestra más amplia para analizar la persistencia de los efectos de la ludificación, explorar con mayor profundidad el vínculo entre motivación y calidad documental desde una perspectiva epistemológica, y avanzar en la interoperabilidad del sistema con otras plataformas de gestión de proyectos para potenciar su aplicabilidad práctica.

***Agradecimientos:*** *se agradece al Señor Sergio "Nardo" González, guitarrista, compositor y profesor de música nacido en Gualeguay, Entre Ríos.*

## Referencias

[1] Pmbok Guide (2021) A Guide to the Project Management Body of Knowledge. 7 Ed. Project Management Institute. ISBN: 978-1628256796.

[2] Office of Government Commerce (2009) An introduction to PRINCE2: managing and directing successful projects. Stationery Office, 123 p. ISBN-10: 0113311885.

[3] A. Böhm (2009) Application of PRINCE2 and the Impact on Project Management. ISBN 978-3-640-42634-8.

[4] J. Highsmith (2010) Agile project management: creating innovative products. 2 Ed. Boston, MA: Addison-Wesley. 432 p.

[5] ISO (2012) ISO 21500:2012 Guidance on Project Management, Geneva: ISO.

[6] J. Sutherland (2014) Scrum: The art of doing twice the work in half the time. New York: Crown Business. 256 p. ISBN-10: 038534645X, ISBN-13: 978-0385346450.

[7] R. Van Solingen, R. Van Lanen (2014) Scrum voor Managers. Den Haag: Academic Service. EAN: 9789012585903.

[8] H. Lei, F. Ganjeizadeh, P. Jayachandran, P. Ozcan (2015) Statistical analysis of the effects of Scrum and Kanban on software projects. Mz. onRobotics & Computer-Integrated Manufacturing.

[9] C. Shearer (2000) The CRISP-DM model: The new blueprint for data mining. Journal of Data Warehousing, no. 4, pp. 13-22.

[10] U. Shafique., H. Qaiser (2014) A Comparative Study of Process Models Data Mining).International Journal of Innovation and Scientific Research, pp.217-22.

[11] J. Varajão, C. Dominguez, P. Ribeiro, A. Paiva (2014) Critical success aspects in Project management. Tech. Gazette 21 (3) 583–589.

[12] TSG (2018) The CHAOS Report. The Standish Group, 2018. Disponible en https://secure.standishgroup.com/reports/flyers/CM2018- TOC.pdf.

[13] T. Lehtinen, M. Mäntylä., J. Vanhanen, J. Itkonen, C. Lassenius (2014) Perceived causes of software project failures. Information and Software Technology, pp. 623–643.

[14] P. Ramos, C. Mota (2014) Perceptions of success and failure factors in information technology projects. Procedia - Social and Behavioral Sciences, pp. 349 – 357.

[15] S. Montequin, C. Fernandez, O. Fernandez, J. Balsera (2016) Analysis of the Success Factors and Failure Causes in Projects. Journal Information Technology Project Management, pp. 18-3.

[16] T. Chow, D. Chao (2008) A survey of critical success factors in agile software projects. Journal of systems and software, Jun. Available: Science Direct, pp.961–971.

[17] H. Elkadi (2013) Success and failure factors for e-government projects: A case from Egypt. Egyptian Informatics Journal, pp. 165–173.

[18] W. Sardjono W., A. Retnowardhani. (2019). Analysis of Failure Factors in Information Systems Project for Software Implemetation at the organization. Proceedings of 2019 International Conference on Information Management and Technology, pp.141-145, **https://doi.org**/10.1109/ICIMTech.2019.8843725.

[19] J. Westenberger, K. Schuler, D. Schlegel. (2022). Failure of AI projects: understanding the critical factors. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.11.074.

[20] F. Gini, S. Bassanelli, F. Bonetti, R. Hadi Mogavi, A. Bucchiarione, A. Marconi (2025). The role and scope of gamification in education: A scientometric literature review. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105418.

[21] M. Ozlu, S. Arican, F. Kantek (2025). Games and Gamification in Nursing: Mapping the Literature and Future Directions. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2025.106860.

[22] R. Rege, J. Jnani, J. Cheng Jason Hsieh, C. Wang, N. Ammari, Y. Wallach, S. Weintraub, L. Block (2025). Utilizing gamification to educate internal medicine residents on managing lipids in patients with inflammatory conditions. https://doi.org/10.1016/j.jacl.2025.04.016.

[23] P. Marques Santos, J. Matos Dias, C. Maia Bairrada (2024). Gamification in marketing: Insights on current and future research directions based on a bibliometric and theories, contexts, characteristics and methodologies analysis. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32047.

[24] H. Yeh, T. Chang, Y. Li (2025). The role of gamification in enhancing consumer engagement at expositions through self-determination theory. https://doi.org/10.1108/JSM-08-2024-0423.

[25] G. Zhang, J. Wu, K. Zhao, X. Zhou, Y. Chen, Y. Wang, M. Tan (2025). Sustainable society based on social gamification using Nova Empire ecology mining. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102666.

[26] R. Feitosa Gonçalves, C. Barbosa, M. Argôlo, J. Moreira de Souza (2025). Gamification applied to knowledge sharing in software development: A rapid review. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2025.107829.

[27] A. Suh, C. Wagner, L. Liu (2018) Enhancing User Engagement through Gamification. Journal of Computer Information Systems, 58 (3), pp. 204-213.

[28] S. Dale (2014) Gamification: making work fun, or making fun of work? Business Information Review, 31(2), 82-90.

[29] G. Galetta (2015) The Gamification: Applications and Developments for Creativity and Education. Creative Personality. Collection of Scientific Papers; ISSN: 1407-6276.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[30] K. Muszyńska (2020) Gamification of communication and documentation processes in project teams. Procedia Computer Science. Vol. 176, Pp 3645-3653.

[31] Attali Y., Arieli-Attali M. (2015). Gamification in assessment: do points affect test performance?. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.12.012.

[32] Gibson D., Ostashewski N., Flintoff K., Grant S., Knight E. (2015). Digital badges in education. https://doi.org/10.1007/s10639-013-9291-7.

[33] U. Salazar-Cardona, F. Gutiérrez Vela, J. Arango-Lopez, F. Moreira (2023). Older adults' motivations in game based systems: Heuristic definition and its connection with fun. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100304.

[34] W. Sharma, W. Marc Lim, S. Kumar, A. Verma, R. Kumra (2023). Game on! A state-of-the-art overview of doing business with gamification. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122988.

[35] Regalado Chamorro M., Medina Gamero A., Hinojosa Núñez M., Rodríguez Pérez A. (2021). Gamification in health: A change in health education. https://doi.org/10.1016/j.appr.2021.100102.

[36] T. Che, Y. Peng, Q. Zhou, A. Dickey, F. Lai (2023). The impacts of gamification designs on consumer purchase: A use and gratification theory perspective. https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101268.

[37] R. Misara, D. Verma, S. Mishra, R. Singh Dubey (2025). Beyond points and badges: Unveiling the impact of gamification in management studies. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105114.

[38] A. Gaweł, V. Ksendzuk, O. Patlatoi, A. Wach. (2025). Digital business simulation games in higher education during armed conflicts. https://doi.org/10.1016/j.ijme.2025.101261.

[39] J. Friedrich, M. Becker, F. Kramer, M. Wirth, M. Schneider (2020). Incentive design and gamification for knowledge management. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.02.009.

[40] C. Abril, E. Gimenez-Fernandez, M. Camacho-Miñano (2024). Using gamification to overcome innovation process challenges: A literature review and future agenda. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2024.103020.

[41] P. Cristaldo (2024). Formulación de métricas para la evaluación integral de metodologías de gestión de proyectos. https://doi.org/10.35537/10915/167563.

[42] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth. (1996b). Advances in knowledge discovery and data mining. chapter From Data Mining to Knowledge Discovery: An Overview, pages 1–34. American Association for Artificial Intelligence, Menlo Park, CA, USA.

[43] U. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. https://doi.org/10.1609/aimag.v17i3.1230.

[44] M. Habib. (2023) Perspectives and Considerations on the Evolution of Smart Systems. DOI: 10.4018/978-1-6684-7684-0.

[45] P. Weber, L. Grönewald, T. Ludwig. (2022).. Reflection on the Octalysis framework as a design and evaluation tool. Conference: 6th International GamiFIN Conference 2022 (GamiFIN 2022).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Calidad e Innovación en Repositorios Digitales Institucionales. Un Enfoque desde la Ingeniería de Software y Gestión de Proyectos

*[1]Ana María del Prado, [1]Carola Victoria Flores, [1]María Vanesa Doria, [2]Germán Montejano*
*[1]Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca*
*[2]Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis*
*anadelprado@tecno.unca.edu.ar, carolaflores@tecno.unca.edu.ar,*
*vanesadoria@tecno.unca.edu.ar, gmonte@unsl.edu.ar*

## Resumen

Los repositorios digitales institucionales (RDI) constituyen una pieza clave en la consolidación de la ciencia abierta al garantizar la preservación, gestión y difusión del conocimiento académico y científico. Su aporte trasciende la función de almacenamiento y se vincula con la capacidad de sostener la memoria institucional, aumentar la visibilidad de la producción científica y fortalecer la democratización del acceso al conocimiento. Sin embargo, estos objetivos solo se alcanzan cuando los repositorios cumplen estándares de calidad, aplican buenas prácticas y adoptan tecnologías emergentes que potencien su sostenibilidad. Este trabajo presenta un análisis integral de la calidad en los RDI, abordando marcos normativos e internacionales como ISO/IEC 25010, ISO/IEC 12207, OAIS, los principios FAIR y TRUST, y experiencias consolidadas en repositorios de referencia. La metodología combinó revisión documental con el uso de herramientas de inteligencia artificial para identificar tendencias e indicadores.

## Introducción

Los repositorios digitales institucionales (RDI) se han convertido en un componente esencial del ecosistema de la ciencia abierta y del movimiento internacional de acceso abierto referido al acceso equitativo y democratización del conocimiento. Estas plataformas, concebidas inicialmente como espacios de almacenamiento digital, han evolucionado hacia sistemas complejos que integran servicios de preservación, interoperabilidad, visibilidad académica y gestión del conocimiento científico. Su importancia radica en que concentran la producción intelectual de universidades, centros de investigación y comunidades científicas, otorgando permanencia, accesibilidad y reconocimiento dentro y fuera de la institución que los gestiona. En América Latina, los RDI han adquirido un valor estratégico a partir de políticas públicas de ciencia abierta, impulsadas por marcos legales, como la Ley 26.899 sancionada en Argentina en el año 2013 [1]. Esta normativa obliga a los organismos de ciencia y técnica a garantizar que los resultados de sus investigaciones estén disponibles en acceso abierto, fortaleciendo así la transparencia del sistema científico y el compromiso con la sociedad. A partir de su reglamentación en 2016, se consolidó el Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD), encargado de coordinar, articular y monitorear el cumplimiento de dichas disposiciones. En este marco, los RDI pasaron a ser reconocidos como infraestructuras críticas para democratizar el acceso al conocimiento, a la vez que se convirtieron en referentes de las políticas públicas de ciencia abierta. La experiencia de repositorios consolidados en el país, como el SEDICI de la Universidad Nacional de La Plata o el Repositorio Digital del CONICET, demuestra que la aplicación de buenas prácticas y la adopción de estándares internacionales puede marcar la diferencia en términos de impacto, confiabilidad y visibilidad [2]. Estos casos, considerados modelos en la región, evidencian la importancia de una gestión profesionalizada, orientada tanto a garantizar la preservación digital como a ofrecer una experiencia de usuario óptima. Sin embargo, no todas las instituciones logran replicar este nivel de calidad, ya sea por limitaciones de infraestructura tecnológica, carencia de políticas institucionales claras o falta de capacitación especializada. La calidad emerge, entonces, como el eje fundamental que define la efectividad de un repositorio digital. Este concepto abarca tanto las dimensiones técnicas como la seguridad, interoperabilidad, confiabilidad y preservación a largo plazo, como los aspectos organizacionales y sociales, entre ellos la sostenibilidad financiera, la capacitación del personal y la confianza de la comunidad usuaria [3]. De esta manera, evaluar la calidad de un RDI implica no solo analizar su desempeño tecnológico, sino también comprender su articulación con los objetivos institucionales y su alineación con principios internacionales que promueven la transparencia, la reutilización de datos y la accesibilidad universal.

Este trabajo se sustenta en estándares internacionales de calidad del software y preservación digital (ISO/IEC 25010 [4], ISO/IEC 12207 [5], ISO 14721 OAIS [6], entre otros), Asimismo, otros marcos y normas complementarias, como los modelos de madurez de procesos (CMMI), las auditorías de confiabilidad (ISO 16363 [7]) y los estándares de metadatos (ISO 23081, Dublin Core), serán considerados en este trabajo para ofrecer una visión integral de la calidad en los RDI.

Asimismo, se consideran los principios FAIR [8] y TRUST [9] como lineamientos rectores de la ciencia abierta.

El presente trabajo analiza la calidad en los RDI desde una perspectiva integral que contempla tres dimensiones clave: los estándares internacionales que definen criterios de evaluación, las buenas prácticas consolidadas que se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aplican en repositorios de referencia, y las innovaciones tecnológicas emergentes, entre ellas la inteligencia artificial, blockchain y big data, que prometen transformar la gestión del conocimiento digital. A partir de estas dimensiones se proponen indicadores de calidad que permiten evaluar procesos, productos e impacto en los usuarios, ofreciendo un marco objetivo para instituciones que buscan fortalecer sus repositorios. En este sentido, los RDI no solo cumplen una función técnica, sino que representan una herramienta estratégica para la competitividad académica de las universidades, la transparencia en la gestión de la ciencia y la generación de valor social a partir de la producción intelectual. Desde la Ingeniería de Software, los RDI se conciben como sistemas de software críticos en los que la aplicación de modelos de calidad, metodologías de desarrollo y evaluaciones de proceso resulta esencial para garantizar fiabilidad, escalabilidad y usabilidad de la plataforma. A su vez, la Gestión de Proyectos cobra especial relevancia herramientas necesarias para planificar, ejecutar y controlar iniciativas que aseguren sostenibilidad e innovación, integrando de manera eficiente recursos humanos, tecnológicos y financieros. En consecuencia, el presente estudio se inscribe en estos ejes temáticos, al abordar la calidad en repositorios digitales institucionales desde un enfoque integral que considera aspectos técnicos, organizacionales y estratégicos, promoviendo la convergencia entre calidad del software y gestión de proyectos para fortalecer la innovación y la excelencia en infraestructura digital académica.

## Marco Teórico

El marco teórico se organiza en torno a las tres dimensiones clave planteadas en la introducción: los estándares internacionales, las buenas prácticas consolidadas y las innovaciones tecnológicas emergentes que orientan la calidad en los repositorios digitales institucionales (RDI). En primer lugar, se revisan los principales modelos y normas internacionales de calidad en software y preservación digital, así como los principios FAIR y TRUST, que ofrecen marcos conceptuales para la gestión de repositorios. En segundo lugar, se analizan experiencias y buenas prácticas adoptadas por repositorios de referencia, tanto en el ámbito nacional como internacional, que permiten identificar lineamientos replicables. Finalmente, se abordan tecnologías disruptivas como inteligencia artificial, blockchain y big data, que plantean nuevos escenarios para la gestión del conocimiento. De manera transversal, se incorpora la Gestión de Proyectos como marco metodológico que articula estas dimensiones, asegurando planificación, sostenibilidad e innovación en el desarrollo y mantenimiento de los RDI.

### Estándares internacionales de calidad en repositorios digitales

#### Calidad en el desarrollo de software y su transferencia a los repositorios digitales

La Ingeniería de Software se centra en la aplicación sistemática de métodos, técnicas y herramientas para desarrollar productos que satisfagan criterios de calidad y funcionalidad [10]. El concepto de calidad en este ámbito ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, inicialmente se vinculaba de manera exclusiva con el cumplimiento de requisitos funcionales y técnicos, pero actualmente se entiende como un concepto multidimensional que abarca aspectos internos, externos y de uso. En este sentido, la norma ISO/IEC 25010:2011 [4], define de ocho características principales: funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad, seguridad, compatibilidad e interoperabilidad.

La transferencia de estos criterios al ámbito de los RDI resulta clave, ya que dichos sistemas no solo deben funcionar correctamente, sino también ofrecer servicios confiables, accesibles y sostenibles para comunidades académicas diversas [11]. Esto significa que la calidad de un RDI no se limita a la robustez de su plataforma tecnológica, sino que se proyecta a la gestión de metadatos, la preservación digital a largo plazo, la accesibilidad para distintos perfiles de usuario y la capacidad de integrarse en ecosistemas globales de ciencia abierta.

Bajo esta perspectiva, los repositorios deben entenderse como infraestructuras dinámicas, donde la Ingeniería de Software aporta metodologías que permiten la integración armónica de sus componentes técnicos y humanos, contribuyendo tanto a la sostenibilidad de la plataforma como a la gestión eficiente del conocimiento científico.

#### Normas técnicas aplicadas a los repositorios

El reconocimiento de la calidad en los RDI requiere la adopción de estándares internacionales que permitan establecer un marco comparativo y garantizar prácticas uniformes:

ISO/IEC 25010 (Calidad del producto de software): ofrece un modelo para evaluar las características internas y externas de los sistemas [4]. En los RDI, este estándar permite medir la confiabilidad del acceso, la interoperabilidad de los metadatos y la capacidad de preservación de los contenidos.

ISO/IEC 12207 (Procesos del ciclo de vida del software): establece procesos para la adquisición, desarrollo, operación, mantenimiento y retiro de sistemas [5]. Su aplicación a los RDI asegura la continuidad operativa y el alineamiento con normativas nacionales como la Ley 26.899.

Capability Maturity Model Integration (CMMI): aporta un enfoque de madurez y mejora continua de procesos, que aplicado a los repositorios impulsa la institucionalización

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de políticas de calidad y la profesionalización de la gestión [12].

ISO 14721 (OAIS) [6] y ISO 16363 [7]: proporcionan modelos de referencia para la preservación digital y criterios de auditoría para certificar repositorios como "confiables" [13]. Su relevancia es crítica en un contexto donde la obsolescencia tecnológica amenaza la sostenibilidad de los datos.

ISO 23081 y Dublin Core [14]: normalizan la gestión de metadatos, estableciendo reglas para la descripción, interoperabilidad y reutilización de objetos digitales [15]. Estos estándares aseguran que la información contenida en los repositorios pueda ser encontrada y utilizada en distintos entornos tecnológicos.

La aplicación de estos estándares constituye un paso indispensable para que los repositorios locales puedan insertarse en redes internacionales y ser reconocidos como actores legítimos en la circulación global del conocimiento científico.

**Principios de la ciencia abierta: FAIR y TRUST**

La ciencia abierta se ha consolidado como un paradigma que promueve la transparencia, la colaboración y el acceso equitativo al conocimiento científico. En este marco, han surgido principios orientadores como FAIR y TRUST, que establecen directrices técnicas, organizacionales y culturales para garantizar que los repositorios digitales institucionales funcionen de manera confiable, sostenible y alineada con los valores de la ciencia abierta.

Principios FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) propuestos en 2016, constituyen la guía fundamental para garantizar que los datos no solo estén disponibles, sino también sean localizables, comprensibles y reutilizables en diversos contextos científicos y tecnológicos [8]. En los RDI, estos principios se traducen en el diseño de interfaces de búsqueda avanzadas, la adopción de identificadores persistentes y el cumplimiento de protocolos de interoperabilidad.

TRUST (Transparency, Responsibility, User Focus, Sustainability, Technology): formulados en 2020, complementan a FAIR al enfatizar la dimensión organizacional e institucional [9]. Subrayan la necesidad de repositorios transparentes en sus políticas, responsables en la gestión, centrados en el usuario, sostenibles a largo plazo y con infraestructura tecnológica robusta.

A continuación, se presenta una tabla que sintetiza los estándares y principios de referencia más relevantes para evaluar la calidad y sostenibilidad de los RDI, indicando su propósito y aplicación concreta.

Tabla 1. Estándares y principios aplicados a RDI. Fuente: elaboración propia.

| Estándar / Principio | Qué evalúa | Cómo se aplica en RDI |
|---|---|---|
| ISO/IEC 25010 | Calidad del producto de software (funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, seguridad, interoperabilidad, etc.) | Permite evaluar la usabilidad del portal, confiabilidad del acceso y seguridad de los datos. |
| ISO/IEC 12207 | Procesos del ciclo de vida del software (adquisición, desarrollo, operación, mantenimiento, retiro) | Asegura continuidad operativa del repositorio mediante procesos definidos de mantenimiento y evolución. |
| OAIS (ISO 14721) | Modelo de referencia para preservación digital a largo plazo | Establece lineamientos para garantizar la preservación digital a largo plazo de los contenidos. |
| ISO 23081 Dublin Core | Estándar de metadatos para describir y organizar objetos digitales | Facilita la interoperabilidad y recuperación de información al usar descriptores normalizados. |
| FAIR | Principios de la ciencia abierta para que los datos sean Localizables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables | Orienta la gestión de datos y metadatos para que puedan ser reutilizados en diferentes contextos científicos. |
| TRUST | Principios de gobernanza institucional para repositorios (Transparencia, Responsabilidad, Usuario, Sostenibilidad, Tecnología) | Define criterios de gestión confiable que garanticen sostenibilidad y confianza de la comunidad académica. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Buenas prácticas consolidadas en repositorios de referencia

La Confederation of Open Access Repositories (COAR) y diversas iniciativas internacionales han sistematizado buenas prácticas que refuerzan la calidad de los RDI [16]. Estas prácticas incluyen la definición de políticas claras de acceso abierto, la adopción de protocolos como OAI-PMH para la recolección de metadatos, la capacitación permanente del personal a cargo de la gestión, y la implementación de estrategias de preservación digital a largo plazo.

En Argentina, dos experiencias resultan emblemáticas en la consolidación de buenas prácticas en repositorios digitales institucionales:

Servicio de Difusión de la Creación Intelectual (SEDICI) de la Universidad Nacional de La Plata, creado en el 2003, como RDI de acceso abierto, se ha destacado como referente regional por su incorporación temprana de estándares de metadatos y su participación en redes internacionales como La Referencia y COAR [3].

El CONICET DIGITAL, fue creado en el año 2013 para reunir, preservar y difundir en acceso abierto la producción científica y tecnológica generada por los investigadores, becarios y personal de apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Implementa protocolos de interoperabilidad (OAI-PMH) y estándares de metadatos, lo que garantiza su integración en redes nacionales e internacionales como La Referencia y OpenAIRE. Contribuye a la transparencia y visibilidad de la ciencia argentina, fortaleciendo la preservación a largo plazo de la producción científica nacional [17].

Ambos repositorios, con trayectorias complementarias, representan modelos de referencia en Argentina al combinar políticas institucionales claras, adopción de estándares internacionales y compromiso con la preservación digital a largo plazo, consolidando así su impacto, confiabilidad y visibilidad en el ecosistema global de la ciencia abierta.

### A nivel internacional, podemos mencionar los siguientes RDI:

Apollo repositorio institucional de la University of Cambridge, lanzado en 2003, enfocado en preservar de forma sostenible la producción académica (publicaciones, tesis, datasets, código, medios, etc.). Participa en iniciativas de certificación FAIR y CoreTrustSeal [18].

DASH (Digital Access to Scholarship at Harvard) repositorio institucional de Harvard University, Este repositorio alberga una amplia gama de trabajos académicos afiliados a Harvard, incluyendo artículos de revistas con y sin arbitraje, actas de congresos, tesis y disertaciones, documentos de trabajo e informes. Una infraestructura confiable y segura respaldada por la integración en redes internacionales como COAR y OpenAire. [19].

Estos RDI internacionales demuestran cómo la adopción de estándares de metadatos, protocolos de interoperabilidad y políticas claras de preservación digital fortalece la confiabilidad, visibilidad y sostenibilidad de la producción académica.

Estas experiencias, nacionales e internacionales, sirven como modelos de buenas prácticas a nivel global, evidenciando que la combinación de innovación tecnológica, compromiso institucional y colaboración en redes internacionales es clave para consolidar un ecosistema de ciencia abierta robusto y accesible.

### Innovaciones tecnológicas emergentes en repositorios digitales

Un aspecto emergente en el debate sobre calidad en los RDI es la incorporación de tecnologías disruptivas, entre las que se destaca la inteligencia artificial (IA). Las herramientas basadas en IA permiten automatizar procesos de generación y normalización de metadatos, mejorar los motores de búsqueda mediante procesamiento de lenguaje natural, anticipar necesidades de usuarios a partir de análisis predictivo y garantizar la detección de duplicados o inconsistencias en los registros [20].

Por otro lado, el blockchain se presenta como una tecnología con alto potencial para reforzar la integridad y trazabilidad de los datos, ofreciendo registros inmutables que aseguran autenticidad en los procesos de preservación digital.

Asimismo, el big data abre nuevas posibilidades de análisis sobre los patrones de uso de los repositorios, lo cual posibilita mejorar continuamente su calidad en función de la experiencia real de los usuarios.

Estas tendencias anticipan un futuro en el cual los repositorios digitales ya no serán meros sistemas de almacenamiento, sino plataformas inteligentes y dinámicas, capaces de adaptarse a los cambios en la producción y circulación del conocimiento científico.

### Gestión de Proyectos en el desarrollo y mantenimiento de repositorios digitales

La Gestión de Proyectos proporciona la estructura metodológica necesaria para planificar, dirigir y controlar iniciativas orientadas a la implementación y mejora continua de los RDI. Marcos de referencia reconocidos como el PMBOK del PMI [21] o PRINCE2 [22] ofrecen guías prácticas para gestionar recursos, riesgos, alcance, tiempo y calidad.

En este contexto, la gestión de la calidad y la innovación se conciben como procesos basados en el conocimiento, donde las organizaciones establecen sistemas de vigilancia e inteligencia para identificar, asimilar y aplicar información que permita mejorar continuamente su desempeño, impulsadas por el aprendizaje y la innovación. La ciencia abierta, y en particular el acceso abierto a publicaciones y espacios colaborativos, constituye un recurso clave para fortalecer estos procesos, facilitando la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



integración de buenas prácticas y el intercambio de conocimiento [23].

Además, la Gestión de Proyectos facilita la incorporación coordinada de innovaciones tecnológicas, como inteligencia artificial, blockchain y big data, garantizando que las adopciones sean planificadas, evaluadas y ejecutadas de manera sostenible y eficaz.

Este enfoque es esencial para abordar la complejidad inherente de los RDI, donde confluyen desafíos tecnológicos, organizativos y sociales, demandando una gestión transversal, colaborativa y orientada a resultados.

## Metodología

El diseño metodológico del presente trabajo se fundamentó en un enfoque cualitativo-descriptivo y exploratorio, orientado a comprender en profundidad el estado actual de la calidad en los repositorios digitales institucionales (RDI) y a identificar tanto prácticas consolidadas como emergentes en su gestión.

La metodología combinó tres instancias principales: revisión documental, análisis asistido por IA y contrastación con experiencias de referencia.

### Revisión documental y normativa

Se llevó a cabo un relevamiento sistemático de literatura académica, normativa internacional y marcos conceptuales vinculados a la calidad del software y de los repositorios digitales. Esta instancia permitió:

- Identificar estándares internacionales relevantes: ISO/IEC 25010, ISO/IEC 12207, OAIS, ISO 23081, ISO 16363, CMMI y Dublin Core.
- Incorporar directrices y principios de calidad aplicables a repositorios (FAIR, TRUST, COAR).
- Revisar estudios comparativos de repositorios en Argentina y a nivel internacional, lo cual facilitó establecer puntos de convergencia y divergencia en la gestión de calidad.

La búsqueda se centró en bases de datos de libre acceso, revistas científicas indexadas y literatura técnica disponible en portales especializados de preservación digital.

### Análisis asistido por inteligencia artificial

Una innovación metodológica de esta investigación radica en la incorporación de herramientas de inteligencia artificial (IA) como soporte metodológico para el análisis de literatura científica. Se utilizaron las siguientes herramientas de IA para la sistematización y síntesis de información:

- Perplexity AI: motor de búsqueda basado en IA que permitió obtener resúmenes precisos y referencias actualizadas sobre calidad en repositorios.
- Consensus: herramienta diseñada para extraer resultados clave de artículos revisados por pares, facilitando la identificación de consensos y controversias en torno a las buenas prácticas.
- Elicit: software orientado al análisis y organización de literatura científica, que permitió mapear conexiones entre autores, conceptos y marcos normativos.
- Semantic Scholar: base de datos académica impulsada por IA, utilizada para rastrear tendencias emergentes en el campo de preservación digital y calidad en repositorios.
- ChatGPT: modelo de lenguaje que contribuyó a la redacción preliminar de síntesis, a la identificación de patrones comunes en los documentos analizados y a la elaboración de propuestas de indicadores de calidad.

El uso de estas herramientas no sustituyó el juicio crítico de las autoras, aumentando la eficiencia en la identificación de fuentes y en la integración de perspectivas heterogéneas.

### Contrastación con experiencias de referencia

La tercera instancia metodológica consistió en analizar repositorios reconocidos a nivel nacional e internacional como casos de referencia. Entre ellos se incluyeron:

- Servicio de Difusión de la Creación Intelectual (SEDICI) repositorio institucional de la Universidad Nacional de La Plata.
- CONICET DIGITAL, repositorio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
- Apollo repositorio institucional de la University of Cambridge.
- DASH (Digital Access to Scholarship at Harvard) repositorio institucional de Harvard University.

El análisis de lo RDI mencionados permitió:

- Reconocer prácticas consolidadas de gestión de calidad.
- Identificar estrategias replicables en repositorios en desarrollo.
- Valorar el papel de la innovación tecnológica en la mejora de la sostenibilidad y la confiabilidad.

La información obtenida en las fases anteriores fue organizada en tres dimensiones analíticas:

- Estándares y marcos internacionales que definen criterios de calidad.
- Buenas prácticas actuales y emergentes en la gestión de RDI.
- Indicadores de calidad orientados a evaluar procesos, productos e impacto en usuarios.

Este procedimiento metodológico garantiza una visión amplia y multidimensional, articulando las perspectivas técnica, organizacional y social, y sentando las bases para la formulación de lineamientos de mejora en la gestión de los repositorios digitales institucionales.

La Figura 1 sintetiza el diseño metodológico adoptado en este trabajo, organizado en tres instancias principales: la revisión documental y normativa, el análisis asistido por herramientas de IA y la contrastación con experiencias de referencia. Cada una de estas fases aportó insumos específicos que, de manera articulada, condujeron a la construcción de tres dimensiones analíticas: estándares

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



internacionales, buenas prácticas y propuesta de indicadores de calidad aplicables a los RDI.

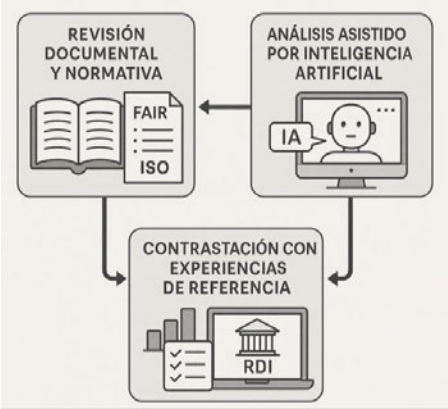



Figura. 1 Esquema metodológico de la investigación sobre calidad en RDI.

## Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la revisión documental, el análisis asistido por IA y la contrastación con repositorios de referencia, se organizan en torno a tres dimensiones: buenas prácticas actuales, indicadores propuestos y prácticas emergentes. Estas dimensiones permiten comprender el estado de situación y los desafíos de calidad en los repositorios digitales institucionales.

### Buenas prácticas actuales

- Implementación de estándares de metadatos: La adopción de estándares como Dublin Core es fundamental para garantizar la interoperabilidad y la accesibilidad de los datos. Este estándar permite una descripción consistente y precisa de los recursos, facilitando su búsqueda y recuperación. Implementación de protocolos de interoperabilidad (OAI-PMH).
- Estrategias de preservación digital sostenibles: La preservación digital es un componente crítico para asegurar que los datos sean accesibles en el futuro. Esto incluye la implementación de estrategias que aborden tanto la migración de formatos como la creación de copias de seguridad regulares.
- Políticas claras de acceso abierto y gestión de derechos de autor: Es crucial que las políticas de acceso abierto estén alineadas con las leyes y regulaciones locales e internacionales. Esto no solo asegura la legalidad del acceso a los datos, sino que también promueve la transparencia y el compromiso con el conocimiento abierto. La gestión efectiva de los derechos de autor es vital para proteger tanto a los creadores como a las instituciones. Esto implica establecer políticas claras sobre el uso y distribución de los datos, así como educar a los usuarios sobre sus derechos y responsabilidades.
- Capacitación continua del personal: La formación regular del personal encargado del RDI en temas relacionados con tecnología, gestión de datos y derechos de autor es esencial para mantener altos estándares operativos.
- Evaluación y monitoreo continuo: Implementar mecanismos para evaluar regularmente la calidad y el impacto del repositorio, lo que puede incluir encuestas a usuarios y análisis de uso.
- Colaboración interinstitucional: Fomentar alianzas con otras instituciones para compartir recursos, conocimientos y mejores prácticas puede enriquecer las capacidades del RDI.

### Indicadores de Calidad para la Gestión y Mejora Continua de los RDI

La definición de indicadores de calidad constituye un paso fundamental para evaluar de manera objetiva y medible el desempeño de los repositorios digitales institucionales (RDI). Estos indicadores no solo permiten monitorear el estado actual de los procesos y productos, sino también establecer mecanismos de mejora continua que aseguren la alineación con los objetivos institucionales y el cumplimiento de principios de ciencia abierta.

Tal como se argumentó en el marco teórico, la Gestión de Proyectos aporta la estructura metodológica necesaria para planificar, dirigir y controlar iniciativas orientadas a la implementación y sostenibilidad de los RDI [21] [22]. En este sentido, los indicadores de calidad funcionan como herramientas de seguimiento que permiten identificar brechas, medir avances y orientar decisiones estratégicas. Además, garantizan que la incorporación de innovaciones tecnológicas como IA, blockchain o big data, sea planificada y evaluada de manera eficaz y sostenible.

De igual manera, la adopción de estándares internacionales (ISO/IEC 25010, ISO/IEC 12207, OAIS, ISO 16363, ISO 23081 Dublin Core) otorga un marco comparativo que asegura uniformidad en la evaluación y fortalece la confiabilidad de los resultados. Sobre esta base, se proponen indicadores organizados en tres categorías clave: eficiencia de los procesos, calidad del producto final e impacto en los usuarios.

- Eficiencia de los Procesos
  - Tiempo de respuesta: Tiempo promedio requerido para acceder o descargar un recurso.
  - Tasa de disponibilidad: Porcentaje de tiempo que el repositorio permanece accesible en un período determinado.
  - Automatización de tareas: Porcentaje de procesos automatizados, como la generación de metadatos o el mantenimiento.
  - Curación de datos: Frecuencia y efectividad de las acciones de revisión y actualización de los contenidos almacenados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Calidad del Producto Final
  - Integridad de los metadatos: Proporción de registros que cumplen con los estándares establecidos y adoptados por el repositorio, como Dublin Core.
  - Interoperabilidad: Capacidad del repositorio para integrarse con otros sistemas, medida por la conformidad con protocolos como OAI-PMH.
  - Conformidad con estándares de preservación digital: Implementación de políticas y técnicas que aseguren la longevidad de los recursos almacenados.

- Impacto en el Usuario Final
  - Usabilidad: Evaluación de la facilidad de uso del sistema mediante métricas como el número de clics necesarios para realizar una búsqueda exitosa.
  - Satisfacción del usuario: Recopilación y análisis de retroalimentación de los usuarios a través de encuestas o análisis de reseñas.
  - Accesibilidad: Evaluación del cumplimiento de las pautas de accesibilidad, como WCAG 2.1, para garantizar que el repositorio sea inclusivo.
  - Relevancia de los resultados: Porcentaje de búsquedas que devuelven resultados pertinentes según las palabras clave ingresadas.

En conjunto, estos indicadores ofrecen a las instituciones un marco robusto para evaluar y mejorar continuamente la gestión de sus repositorios digitales, asegurando que cumplan estándares internacionales, se alineen con las políticas institucionales y aporten un alto valor a sus comunidades de usuarios.

### Buenas prácticas emergentes

En el análisis de los RDI se destacan buenas prácticas emergentes que pueden fortalecer la calidad en su desarrollo, gestión y mantenimiento:

- Automatización en la gestión de contenidos mediante IA: para la clasificación automática de documentos, la generación de descripciones y la detección de duplicados. Este enfoque reduce errores humanos y aumenta la eficiencia en la curación de datos, tal como se observa en iniciativas europeas como el proyecto AI4EU y en experiencias de preservación digital enmarcadas en la red OpenAIRE, donde la IA ha demostrado mejorar la interoperabilidad y la reutilización de datos [24].
- Blockchain para garantizar integridad, seguridad y trazabilidad: Esta tecnología, basada en Distributed Ledger Technology (DLT), ofrece almacenamiento resistente a manipulaciones, asegurando transparencia y autenticidad. En el ámbito bibliotecario, se ha explorado su uso para la preservación digital, el seguimiento de objetos, la gestión de derechos digitales, préstamos interbibliotecarios, verificación de credenciales, archivo de colecciones especiales y rastreo de propiedad intelectual y por lo tanto puede adaptarse a RDI. Aunque existen desafíos relacionados con financiamiento, aspectos técnicos y seguridad, el apoyo institucional y la capacitación son clave para su adopción. Además, blockchain refuerza la capacidad de auditoría y facilita alinearse con estándares como la ISO 16363 para repositorios confiables [7].
- Big data para análisis de uso e impacto: Mediante técnicas de minería de datos y aprendizaje automático, las instituciones pueden identificar patrones de acceso, medir el impacto real de la producción académica y personalizar la experiencia del usuario. Esta capacidad analítica potencia la toma de decisiones estratégicas y transforma el repositorio en una plataforma inteligente y adaptativa.
- Gestión continua de versiones y auditorías basadas en estándares ISO: Implementar sistemas que registran y permiten rastrear los cambios en los documentos garantiza la integridad de los contenidos a lo largo del tiempo. Esta práctica refuerza la transparencia institucional y prepara a los repositorios para procesos de auditoría y certificación internacional.

## Discusión

El análisis evidencia que los repositorios de calidad no se limitan a la aplicación de estándares técnicos, sino que requieren un equilibrio entre marcos normativos, estrategias de gestión organizacional y capacidad de respuesta a las necesidades de los usuarios. A nivel internacional, se observa que la incorporación de IA y analítica avanzada está potenciando la visibilidad y el alcance global de los repositorios, al tiempo que facilita procesos de automatización y predicción de demandas de información. En contraste, en América Latina persisten desafíos vinculados a la interoperabilidad, el financiamiento sostenible y la capacitación del personal, aspectos que condicionan la plena implementación de los principios FAIR y TRUST. No obstante, estas limitaciones también abren oportunidades para el desarrollo de modelos de cooperación interinstitucional y el fortalecimiento de capacidades locales, lo que permitiría avanzar hacia repositorios más confiables, inclusivos y alineados con la ciencia abierta.

## Conclusiones

Este trabajo llevó a cabo un análisis de buenas prácticas actuales y emergentes. Entre ellas, se destacan la implementación de estándares internacionales como Dublin Core y OAI-PMH, junto con tecnologías innovadoras como la IA para la automatización de metadatos, la predicción de necesidades de los usuarios y el análisis avanzado de datos. Estas estrategias se alinean con los principios FAIR y TRUST, que garantizan repositorios confiables, accesibles y sostenibles a largo plazo. El estudio permitió además identificar indicadores de calidad agrupados en tres categorías clave: eficiencia de los procesos, calidad del producto final e impacto en el usuario final, los cuales proporcionan un marco objetivo para evaluar el desempeño de los RDI.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Si bien los estándares internacionales resultan fundamentales, los hallazgos evidencian la necesidad de complementarlos con indicadores contextualizados que respondan a realidades locales. Asimismo, se reconoció que las tecnologías emergentes, como la IA y blockchain, ofrecen oportunidades valiosas para anticipar retos y fortalecer la gestión del conocimiento. Finalmente, se resaltó la capacitación del personal y la cooperación interinstitucional como factores críticos de éxito, posicionando a los repositorios no solo como pilares de la ciencia abierta, sino también como motores de preservación del conocimiento, de avance científico y de generación de impactos positivos en las comunidades académicas y sociales.

## Referencias

[1] Honorable Congreso de la Nación Argentina, «Ley 26.899: Creación de Repositorios Digitales Institucionales de Acceso Abierto, Propios o Compartidos.,» 2013. [En línea]. Available: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26899-223459. [Último acceso: 2025].

[2] S. Remigio Aquino, Buenas prácticas en la gestión de repositorios., Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - Concytec, 2022.

[3] M. R. De Giusti, «Calidad en los repositorios digitales: los principios TRUST para repositorios de datos,» *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología,* nº 29, p. 55–59, 2021.

[4] ISO/IEC, ISO/IEC 25010:2011 - Systems and Software Engineering — Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and Software Quality Models, International Organization for Standardization, 2011.

[5] ISO/IEC, ISO/IEC 12207:2008 - Systems and Software Engineering — Software Life Cycle Processes, International Organization for Standardization, 2008.

[6] ISO, ISO 14721:2025 Prácticas del sistema de datos espaciales: modelo de referencia para un sistema de información de archivo abierto (OAIS), International Organization for Standardization, 2025.

[7] ISO, ISO 16363:2025 Sistemas de transferencia de datos e información espacial: auditoría y certificación de repositorios digitales confiables, International Organization for Standardization.

[8] M. Alcalá y L. Anglada, «FAIR x FAIR. Una aproximación pragmática a la gestión de datos de investigación en modo FAIR,» *Anuario ThinkEPI,* vol. 13, 2019.

[9] D. Lin, J. Crabtree, I. Dillo, R. R. Downs y R. Edm, «The TRUST Principles for digital repositories,» *Scientific Data,* vol. 7, 2020.

[10] R. S. Pressman y . B. R. Maxim, Software Engineering: A Practitioner's Approach, McGraw-Hill Education., 2020.

[11] B. Stvilia, Y. Pang, D. J. Lee y F. Gunaydin, «Data quality assurance practices in research data repositories—A systematic literature review,» *Journal of the Association for Information Science and Technology,* 2024.

[12] P. Bongiovani y S. Nakano, «Acceso abierto en Argentina: La experiencia de articulación y coordinación institucional de los repositorios digitales en ciencia y tecnología,» *E-colabora* , vol. 1, nº 2, pp. 163-179, 2011.

[13] M. R. De Giusti y G. Villarreal, «Revisión de distintas implementaciones para preservación digital: hacia una propuesta metodológica para la preservación y la auditoría de confiabilidad de RI,» 2017.

[14] ISO, ISO 23081-1:2017 Información y documentación — Procesos de gestión de registros — Metadatos para registros, International Organization for Standardization, 2017.

[15] J. C. S. Delgado y . M. A. C. Alvarado, «Repositorios institucionales digitales: análisis comparativo entre SEDICI (Argentina) y Kérwá (Costa Rica),» *E-Ciencias de la Información,* vol. 1, p. 1–32, 2017.

[16]Confederation of Open Access Repositories, «COAR Community Framework for Best Practices in Repositories, Version 1.,» 8 octubre 2020. [En línea]. Available: https://zenodo.org/records/4110829.

[17] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), «Repositorio Institucional CONICET Digital,» [En línea]. Available: https://ri.conicet.gov.ar/. [Último acceso: 2025].

[18] University of Cambridge, «Apollo (Institutional Repository) o Apollo – University of Cambridge Repository.,» [En línea]. Available: https://www.repository.cam.ac.uk/home. [Último acceso: 2025].

[19] Harvard University, «DASH – Digital Access to Scholarship at Harvard,» [En línea]. Available: https://dash.harvard.edu/home. [Último acceso: 2025].

[20]M. Fushimi, P. Genovés, M. Pené y C. Unzurrunza, Indicadores para evaluar repositorios universitarios argentinos, de la teoría a la práctica, in Segundo Taller de Indicadores de Evaluación de Bibliotecas (TIEB2), Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata., 2011.

[21]Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), Project Management Institute, 2021.

[22] AXELOS, Managing Successful Projects with PRINCE2. 7.ª edición, septiembre: AXELOS, 2023.

[23] M. B. Valencia Bonilla, K. Pupo Méndez y R. M. Guerra Bretaña, «Aportes de la ciencia abierta a la gestión de la calidad y la innovación en la educación superior,» *Signos: Investigación en sistemas de gestión,* vol. 16, nº 2, pp. 126-144, 2024.

[24] P. Manghi, C. Atzori, A. Bardi y S. La Bruzzo, «The OpenAIRE research graph data model,» *Research Ideas and Outcomes,* nº 6, 2020.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# A Declarative and Flexible Specification for Probabilistic and Quantitative Behavioral Patterns

*Fernando Asteasuain [1,2], Ana Legaspi [1],Jorge Acuña[1], Martin Machuca[1],Gastón Freire[1]*
*{fasteasuain, alegaspi,jacunna,mmmachuca,gafreire@undav.edu.ar}*
*[1] Universidad Nacional de Avellaneda. Dpto. de Tecnología y Administración. Ingeniería en Informática*
*[2]Universidad Abierta Interamericana - Centro de Altos Estudios CAETI*

## Abstract

*Probabilities and quantative measures represent a key feature in modern software development which is being applied in diverse domains such as robotic and satellite missions or Self-Adaptive Systems. In this work we present a declarative and graphical framework called Probabilistic FVS (Feather Weigh Visual Scenarios) to specify systems' behavior with probabilistic and quantative capabilities. This framework is expressive enough to model most of the most known probabilistic specification patterns. Using patterns is a neat improvement to ease the task of specifying the expected behavior of systems and formally verified them with tools like model checkers. Our approach is validated employing a real case of study base on a nano-satellite mission. We also developed a user-profile interaction to obtain meaningful probabilistic measures for the case of study.*

*Keywords: Formal Verification, Probabilistic Models.*

## 1. Introduction

Probabilistic models have always been present in software development [1-5]. One of the most puissant reasons for this is that software engineers are rarely in full control of how the system will flow and execute. Software Engineering, a dominant domain in Computer Science, has been proposing methodologies, tools and techniques to mitigate this issue. For example, the use of software analysis and testing are key aspects to assure software quality [6-7].

However, when due to resources limitations or practical reasons (for example, a large and distributed system which is difficult to analyze as a whole) the possibility to asset with accuracy and precision if a system behaves as expected probabilities become a handy tool to provide satisfactory answers.

Probabilities may appear in software development under several costumes. For example, is a common weapon to tackle the concept of uncertainty in software systems that must adapt quickly for changes in the environment where they are deployed and executed. This is the case Self-Adaptive Systems (SAS) [8-10]. SAS employ a layered architecture and a loop-based cycle where changes are detected, modifications applied and a new configuration is launched [10-13]. SAS have been successfully applied in a plethora of pioneering domains such as UAV's (Unmanned Aerial Vehicles), nano satellites, multiagent systems, fault-tolerant computing, dependable computing, distributed systems, autonomous computing, self-managing systems, autonomous communications, adaptable user interfaces, machine learning, economic and financial systems [10-18]. A possible way to model uncertainty in SAS is introducing probabilities into the model [16-18]. This enables the possibility to express that a certain behavior is likely to occur with a given probability.

Probabilities are also used in model checking tools [3-4,17,37,52,53]. A model checker is a formal verification tool that given a property describing an excepted behavior of the system and model describing how the system works it says if the model satisfies the desired property or not. In the latter case, the model checker provides a counter example that leads to the violation of the property. Although the meaningful contributions of model checking sometimes the amount of space to be checked is too vast and no answer is obtained from the tool in a reasonable time. A probabilistic model checker is a viable option for these cases. It cannot guarantee that a property will always be satisfied but it could establish that it will be satisfied in 99 out of 100 possible executions, which might be reasonable enough for several domains and systems.

The behavioral modeling of certain type of requirements withholds a probabilistic and quantitative nature which is an easier to capture with probabilistic mechanisms. The so called "nonfunctional" requirements such as Middle Time to FAILURE (MTTF), probability of failure upon demand (PFD), availability, performance or reliability fall in this category. Some classical examples of these requirements are: lower or uppers bounds on the time a system take to perform some action, energy

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



consumptions requirements for a satellite or a robot battery [17-22].

Several formalisms such as Temporal Logics have been extended to express probabilities. For example, Probabilistic reward computation tree logic (PRCTL) PRCTL properties are interpreted over discrete-time Markov reward models (e.g., [23]), i.e., state machines containing states labelled with probabilities and rewards.

To simplify writing behavior in these formalisms traditional patterns specification [24] were also extended to denote probabilities [21-22]. Work in [24] introduces a set of templates capturing recurring solutions for the behavioral specification phase: the specification patterns. The most widely known example is the *Response pattern*, which essentially says that every stimulus must be followed by a response, a classical requirement in responsive systems. Work in [22] extends these patterns to include probabilities while work in [21] introduces patterns with a quantative vision of requirements being especially suited for domains such as robotic or satellite missions.

In this sense, it is also important to express requirements and behavior in a declarative way. A declarative specification formally denotes requirements closer to the way they are stated in natural language. This feature eases the process of introducing changes and general analysis as well as behavioral exploration compared to other operational notations [23,24].

Given this context in this work we further deepen the usage of probabilities in the flexible, graphical, expressive and declarative language FVS (Feather Weight Visual Scenarios) [25-27]. FVS has been proved more flexible and expressive that other formalisms such as Linear Temporal logics [32]. In [27] a probabilistic version of FVS was introduced.

We now continue this line of research in a twofold effect. First, we modeled in FVS the two most applied set of probabilistic behavioral specification patterns: all the quantative patterns catalog [21] and all the patterns included in the probabilistic extension [22]. This exemplifies the versatility of the FVS notation. Secondly, we applied both the probabilistic specification patterns in a real, concrete and challenging case of study. We developed a meaningful case of study consisting in a full document describing the expected behavior of a CubeSat satellite mission [28]. It is conceived as a general specification template since additional requirements should be added to address a specific mission. It is a very complete document of more than thirty pages specifying the behavior of several satellites' artifacts and component. The case of study is striking since the CubeSat project has emerged lately as one of the nano-satellites [29]. Probabilities were added to our case of study following the technique in [16]. This approach introduces probabilities based on how the user interacts with the system based on user profiles. For building "user-profile interaction" for our case of study we obtained a vast number of values and data from existing and simulated nano satellites missions from several sources.

The main contributions for this paper might be synthesized as:

- A Declarative and flexible specification for probabilistic patterns extending the original specification patterns.
- A Declarative and flexible specification for the complete catalog of quantitative patterns for robotic and satellite missions.
- A validation of FVS probabilistic patterns specification usage in a real, concrete and appealing case of study: a fully document describing requirements for a Cube-Sat nano satellite mission.
- The development of a solid "user-profile" interaction to incorporate realistic probabilities into our model. This challenge included the use and exploration of an important amount of data and analysis from several sources such as satellite simulation software and logs for previous missions.

The rest of the paper is structured as follows. Section 2 Background introduces the main features of FVS and Probabilistic FVS. Section 3 presents how two of the most widely known probabilistic patterns catalog are modeled in Probabilistic FVS. Section 4 introduces our case of study and details how probabilities were obtained whereas Section 5 exhibits how the FVS behavioral patterns specification is applied to the case of study. Section 6 and 7 introduce related and future work. Finally, Section 8 enumerates the final conclusions for this work.

## 2. Background: FVS main features

In this section we will informally describe the standing features of FVS [25,26]. The reader is referred to [25] for a complete characterization of the language. FVS is a graphical language based on scenarios. Scenarios are partial order of events, consisting of points, which are labeled with a logic formula expressing the possible events occurring at that point, and arrows connecting them. An arrow between two points indicates precedence of the source with respect to the destination: for instance, in Figure 1-a A-event precedes B-event. We use an abbreviation for a frequent sub-pattern: a certain point represents the next occurrence of an event after another. The abbreviation is a second (open) arrow near the destination point. For example, in Figure 1-b the scenario captures the very next B-event following an A-event, and not any other B-event. Conversely, to represent the previous occurrence of a (source) event, there is a symmetrical notation: an open arrow near the source extreme. For example, in Figure 1-c the scenario captures the immediate previous occurrence of a B-event from the occurrence of the A-event, and not any other B-event.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Events labeling an arrow are interpreted as forbidden events between both points. In Figure 1-d A-event precedes B-event such that C-event does not occur between them. FVS features aliasing between points. Scenario in 1-e indicates that a point labeled with A is also labeled with A ^ B. It is worth noticing that A-event is repeated on the labeling of the second point just because of FVS formal syntaxes [25]. Finally, two special points are introduced as delimiters to denote the beginning and the end of an execution. These are shown in Figure 1-f.

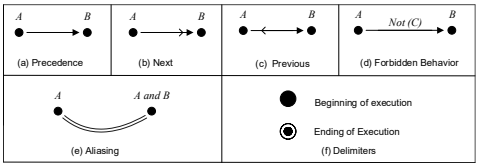



Figure 1. Basic Elements in FVS

We now introduce the concept of FVS rules, a core concept in the language. Roughly speaking, a rule is divided into two parts: a scenario playing the role of an antecedent and at least one scenario playing the role of a consequent. The intuition is that if at least one time the trace "matches" a given antecedent scenario, then it must also match at least one of the consequents. Graphically, the antecedent is shown in black, and consequents in grey. Since a rule can feature more than one consequent, elements which do not belong to the antecedent scenario are numbered to identify the consequent they belong to.

An example is shown in Figure 2 considering a typical requirement for a satellite mission. The requirement being modeled is the following: *The Attitude and Orbit Control Subsystem (AOCS) must monitor the control performance and attitude sensors until the final de-orbiting maneuver*. To that end, we introduce four events: **InOrbit, DeOrbit, ControlPerformance** and **AttitudeSensorOK**. The first two events address the starting and ending points of the maneuver action where the last two events focus on the parameters controllers for performance and attitude.

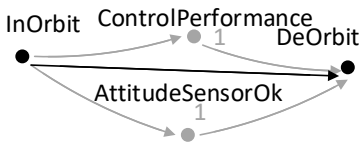



Figure 2. A Rule modeling a requirement for a satellite mission.

The rule in Figure 2 is simply stating that performance and attitude must be monitored while maneuvering. In events terms, **ControlPerformance** and **AttitudeSensorOK** must occur while maneuvering (the timeline between **InOrbit** and **DeOrbit** occurrences).

### 2.1 Probabilistic FVS

The probabilistic flavor of FVS was introduced in [27] It consists of a simply extension, where a function assigning probabilities is attached to the precedence and forbidden relationships between points. Inspired on the model introduced in [16] we consider a lower bound for an event to occur. That is, we focus on the lowest (or highest) chance of an event occurrence. Regarding FVS rules, we consider that a system will satisfy a given rule *R* with a probability *pr* as the ratio between the number of possible behaviors satisfying the rule and the total number of possible behaviors. In raw words, we say the rule *R* is satisfied in at least *pr %* of the cases (*pr%* stands for *100 * pr %*). This conservative approach is one of the most commonly used in formal verification software since the objective is to be as accurate as possible without introducing false positives [30].

To introduce an example, we might revisit the AOCS subsystem requirement modeled in Figure 2. By analyzing previous satellites missions' data and other sources like software simulation we can say that the attitude sensors and performance controls shall be monitored with *a probability equal or higher than 0.99*. The probabilistic FVS rule is shown in Figure 3. It can be seen graphically that the probabilistic rule in Figure 3 is almost identical to the non-probabilistic rule in Figure 2. The only difference is the addition of the probability, indicated by the formula *∫ >=0.99 attached* to the consequent of the rule, which is the function *∫* that assigns probabilities to each event.

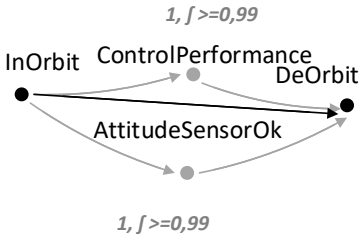



Figure 3. A probabilistic FVS Rule

## 3. Probabilistic Behavioral Patterns and their codification in Probabilistic FVS

The usage of repeating a formula or technique used successfully in the past to solve a similar actual problem is a very common approach not only in computers science but to everyday life for a very long time in human story. In Computer Science perhaps the most popular appearance was the Design Patterns [31] introduced in the middles 90'. This work captures a set of recurrent and common structures end behavior to solve a particular problem,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



which appears in similar ways in different problems. Each pattern constitutes a template that can be instantiated in every new domain providing a tested and verified solution employed successfully in the past. In addition, it also brings a communication identity which is a key feature. For example, a software engineer might say "I applied the Composite pattern to solve the database transaction problem" and everyone can understand with this simple statement the software artifacts involved in the solution and how the interact and communicate.

This solution was translated to the specification world by [24]. Specification patterns were introduced to simplify the usage of complex formal languages such as Linear Temporal Logics (LTL) [32]. For example, one the most known pattern is the Response Pattern. This pattern captures a very common requirement in reactive system: *every stimulus must be followed by a response*. In a client server system this pattern can be instantiated as: *every client request must have a server's response*.

The incorporation of quantative aspects and probabilistic in formal models made that behavioral pattern specification mutated to cope with these issues [21,22]. We can classify these patterns into two categories: those focused on quantitative aspects and those extending the traditional patterns to add a probabilistic flavor. The former category deals with aspects such as maintainability, performance, reliability, maximizing and minimizing measures, etc. The latter category is a more direct approach: they simple extend traditional specification patterns to cope with probabilities.

We have chosen two popular probabilistic patterns in each category: [21] for quantative patterns and [22] for the probabilistic version of traditional patterns. In this way we can exhibit the potential and expressive power of Probabilistic FVS to specify both kinds of probabilistic patterns. The next two subsections are focused on these topics.

### 3.1 Quantitative Pattern Specification in FVS

In this section we describe how the quantitative patterns proposed in [21] are modeled in FVS. The catalog of quantitative patterns includes behavior for modeling intervals (Within pattern, Strictly Within pattern), for modeling objectives (Maximize and Minimize Pattern), for shaping Bounds (At Least, Exactly, At Most patterns), for modeling Performance and Dependability issues (Confidently or Reliability patterns), for modeling timed requirements (Simultaneously, End, Pause or Timeout patterns) or to model Resources behavior such as the Preservation pattern. The complete catalog is detailed in [21].

The Maximize and Minimize pattern guarantee that, with a given probability, the system will maximize (minimize) a given quantitative measure *t* while performing a mission. This is modeled in FVS as shown in Figure 4. The rule for the Maximize pattern in the top of the figure indicates that no values greater than *t* are found until the end of the execution once value *t* occurs with a probability greater than *pr*. The rule for the Minimize pattern is modeled similarly and it is shown in the lower part of Figure 4. Probabilistic values such as *t* are viewed as events to simplify the specification.

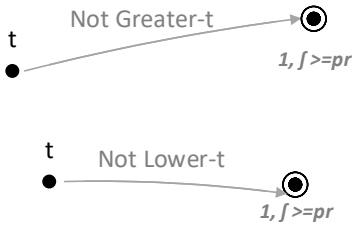



Figure 4. Maximize and Minimize patterns in FVS

The At Most, At Least and the Exactly patterns specify that a certain measure *k* will remain in the desired spectrum (at most/at least or exactly) with a probability greater than *pr*. FVS rules in Figure 5 capture the behavior of these three patterns.

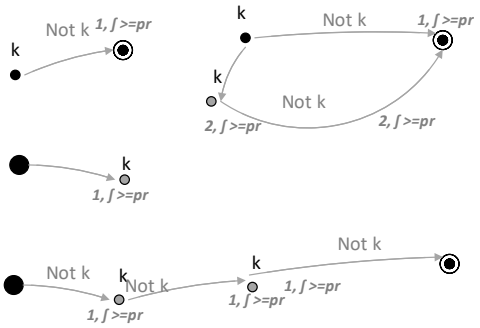



Figure 5. At Most, At Least and Exactly patterns in FVS

The two rules at the top of the Figure capture the At Most pattern, with two different values for *k* (*k=1 in the leftmost rule and k=2 for the rightmost rule*). The rule for *k=2* features 2 consequents since *k* measure can appear one or two times with probability greater than *t*. The rule in the middle of the figure captures the At least pattern, with *k=1*. Finally, the last rule captures the Exactly pattern, that checks that the k measure holds exactly 2 times (*k=2*).

Pause, End, Timeout and Simultaneously are four patterns included in the Time Category in the Quantitative Pattern catalog. Timed patterns are focused on particular instant in the system's execution and are canonical examples of probabilistic behavior since they occurrences are easier to predict than other events [21]. Figure 6 shows FVS rules addressing these timed patterns assuming a desired probability higher than *pr*. The End and Timeout

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



patterns are shown in the top of Figure 6. When a timeout event occurs, the TimeOut pattern established that the execution must end. The end pattern is an extension of this behavior, since it models than the execution should end after the occurrence of any event, and not only a timeout event. In the case of Figure 6, we introduced the *endEvent* to represent this behavior. In both cases, as soon they occur, the system will end with probability higher than *pr*. The FVS rule in the middle of the figure addresses the PAUSE pattern. In this case, the system resumes execution after pause with probability higher than *pr*. Finally, the rule at the bottom states that events e1, e2 and e3 must occur simultaneously with probability higher than *pr*.

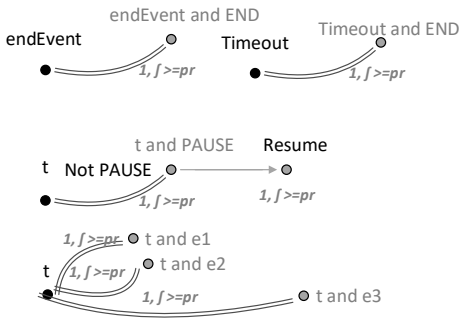



Figure 6. Some Timed Quantitative Patterns modeled in FVS

Preservation and Confidently patterns are concerned about maintaining a certain measure (preservation) or guarantying an upper bound of confidence in some specific values. These two patterns are shown next in Figure 7. The rule in the upper part targets the Preservation pattern (value *t* is preserved) while the other rule targets the Confidently pattern (measure *t* is ensured to be confident enough with probability greater than *pr*)

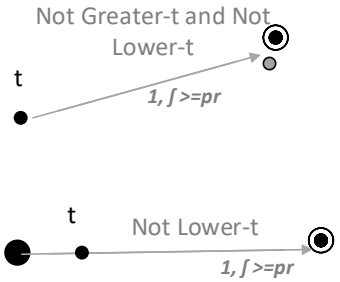



Figure 7. Preservation and Confidently Patterns in FVS

The Strictly Within and Within patterns specify that a measure value *t* will remain in a particular bound with a given probability. In the Within pattern the outer most value of the boundary is not mandatory to occur. These two patterns are shown in Figure 8 (The Within pattern above and the Strictly Within at the bottom)

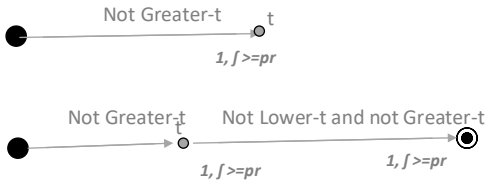



Figure 8. Boundary Patterns in FVS

### 3.2 Probabilistic version of Traditional Patterns in FVS

In this subsection we model in FVS the probabilistic patterns introduced in [22]. These patterns are a more direct version of the original patterns introduced by [24] adding probabilistic issues than the quantitative patterns described in Section 3.1.

Two interesting patterns are the Transient and the Steady pattern since they capitalize situations where some conditions must remain true or false given certain probabilities. The Transient pattern specifies that given the occurrence of an event *e* some property *p* must hold with a probability equal or greater than *pr*. The Steady pattern says that in the long run, a property *p* must hold with a probability equal or greater than *pr*. To model this pattern in FVS we simply state that the property *p* must occur in any future, where Any stand for the occurrence of any event in the system. This is the classical representation of a liveness property in a linear time behavioral specification. Both patterns are shown in Figure 9 (the Transient pattern in the top and the Steady pattern at the bottom).

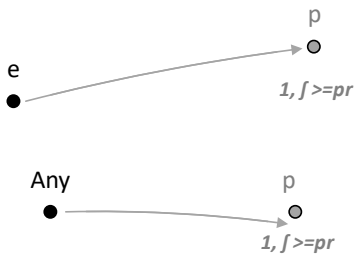



Figure 9. Transient and Steady Patterns in FVS

Following the probabilistic pattern work in [22] we model the next patterns as properties to be held between the occurrence of two events *t1* and *t2*. This corresponds to the notion of Between scope of a pattern [24], which state that a property must hold between two specific points instead of the entire execution. However, the patterns can be modeled with other scopes (for example, After or Before) or without any scope at all.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



The Invariance pattern state that a property *p* must always be valid in a between points *t1* and *t2*. We consider that this must apply with probability equal or higher than *pr* but this can be easily adapted to shape other behavior. The existence pattern is very similar, but the property just need to occur for at least one instant instead of remaining true in the scope. These two patterns are shown in Figure 10 (Invariance in the top of the figure and Existence at the bottom of the Figure).

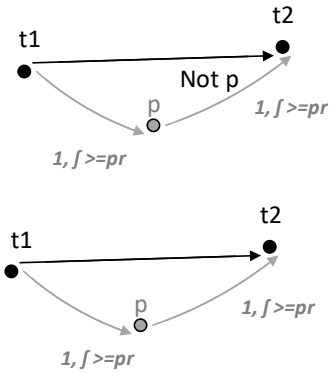



Figure 10. Invariance and Existence Patterns in FVS

Work in [22] also introduces a probabilistic version of the classic Response pattern, where an event response *r* must always follow a stimuli *s* with a given probability. The Constrained response is very similar, but some events must not occur until the response is found. These two patterns are shown in Figure 11. For the constrained version at the bottom of the figure we specify that event *z* must not occur until the occurrence of the response *r* with probability equal or higher than *pr*.

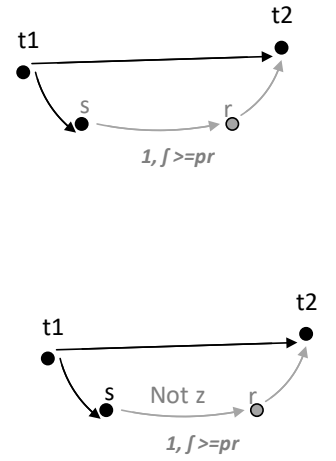



Figure 11. Response and Constrained Response Patterns in FVS

We conclude this section showing two last patterns: The Precedence pattern and the Until patterns. Although all the patterns introduced in [22] were modeled in FVS the portion of them shown in this section are representative enough. Similar to the previous ones, properties must hold between two instants, namely *t1* and *t2*. The Until pattern is shown at the top of Figure 12. The property *q* must hold until the occurrence of instant *t2* and after *t1*, with probability equal or higher than *pr*. The precedence pattern state that every response *r* must be preceded by a stimuli *s* with probability equal or higher than *pr*.

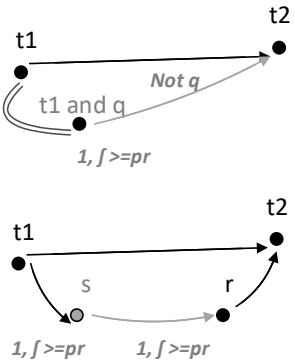



Figure 12. Until and Precedence Patterns in FVS

## 4. Case of Study: CubeSat Mission Specification

Among nano-satellites, the CubeSat project has emerged lately as one of the most popular ones [29]. The CubeSat program was initiated at Stanford University in nineteen ninety-nine for the purpose of building a low-cost and low-weight satellite. Over a thousand different CubeSats missions have been launched over the past twenty years [29, 33]. We developed a meaningful case of study consisting in a full document describing the expected behavior of a CubeSat satellite mission. It is conceived as a general specification template since additional requirements should be added to address a specific mission. It is a very complete document of more than thirty pages specifying the behavior of several satellites artifacts and components such as Orbital Parameters, Ground Storage Directions, Telemetry Functions, Propulsion Subsystem, Attitude Control Subsystem, Command Reception and Execution, Thermal Control Subsystem, Electrical Power Subsystem, Mechanical Subsystem, Dynamic Satellite Simulator or Data Handling Subsystem, among others. The requirements were obtained from real CubeSat missions

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



taken from the literature and represent real specification assignments [33-36].

In addition, we consider further requirements that suit perfectly for probabilistic measures since data can be easily collected from past telemetry missions. Some of them include: reaction wheel saturation and desaturation, solar panels energy optimization and satellite orbital correction maneuvers techniques.

We specified most of the requirements employing both kind of probabilistic patterns described in Section 3. The next subsection details how probabilistic values were added to our case of study.

### 4.1 Obtaining Probabilities for the Case Study

A key aspect when introducing probabilities to a behavioral specification model is how to obtain those probabilities. It is not the same stating that the server will response each request with a probability equal or higher than 0,99 than saying that the that the server will response each request with a probability equal or higher than 0,70. The probabilities have a direct impact on the decisions are made, how the execution flow and which events might or might not occur. This imply that a behavioral property might or might not be fulfilled according the probabilities assigned to each behavior of the system.

An attractive approach commonly used in probabilistic models is presented in [16]. This approach introduces probabilities based on how the user interacts with the system based on user profiles. In simpler words, the probabilistic are based on how the system has been used. However, the problem of obtaining probabilities might remain since producing and exploring this "user´s interaction profile" is not a trivial process [17,38,52].

For building "user-profile interaction" for our case of study we obtained values from existing and simulated nano satellites missions from several sources. The analysis of these data allowed us to build proper and accurate "user-profile interactions" and establish meaningful probabilities to each action. Two of our sources were missions with similar objectives than our case of study taken from The European Space Agency (ESA) website[1] and The European Cooperation for Space Standardization[2]. The other two sources were simulated missions obtained from different web sites and tools. The free trial version of the tool in https://www.ansys.com/products/missions/ansys-stk allows to obtain significant data that helped in a significant way to build our profiles and probabilities. We would like to strengthen these results obtaining a license of this tool and expanding far than the services provided in the trail version. The final source is an appealing simulating software that can be easily downloaded and installed from https://github.com/nasa/GTM_DesignSim . By combining the data recollected from these four sources we developed the "user-profile interactions" for our case of study.

[1] https://www.esa.int/
[2] https://ecss.nl/

## 5. Probabilistic FVS patterns application in the case of study.

In the next two sub sections we applied Probabilistic FVS behavioral pattern specification for our case of study.

### 5.1 Quantative Patterns in Action for Satellite Mission

We employed the Maximize Quantitative Pattern regarding solar energy optimization for satellite's solar panels. One of the requirements is expressed as follows: *The power bus shall be regulated during sunlight operation. During eclipse, the bus voltage shall be maximized with probability equal or greater than 0.97.* To specify this requirement in FVS we rely on the EclipseDetected event and the BusVoltageMax to represent the measure to be maximized. The FVS rule instantiation of the Maximized Pattern is shown in Figure 13.

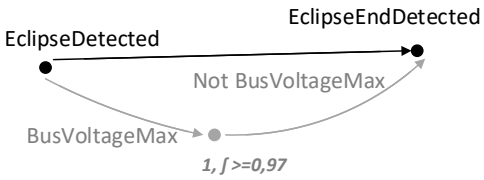



Figure 13. Maximizing Solar Panel energy

Another requirement from the solar panel component is the following: *Critical units energy should be minimized when the bus voltage is between 70% and 85% of the optimal values with a probability equal or greater than 0.93.* This can be modeled employing the Minimize Quantitative Pattern as it is shown in Figure 14. The *CU* acronym used in the events in Figure 14 stands for Critical Units.

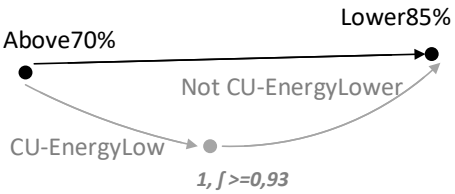



Figure 14. Minimizing CU Energy

The Preservation pattern can be employed for the following requirement: *The TTC subsystem shall continue to operate functionally down to a voltage 80 % of worst-case bus voltage with a probability equal or greater than 0,99*, where TTC stands for the Telemetry, Tracking and Command system. This is addressed in Figure 15.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figure 15. Preservation Pattern for TTC operational voltage

To conclude the application of the quantitative patterns we illustrate the At Least pattern with the following requirement: *Pressure vessels shall perform with a burst pressure of at least 1.25 times the maximum expected operating pressure with a probability equal or greater than 0,99*. This is shown next in Figure 16.

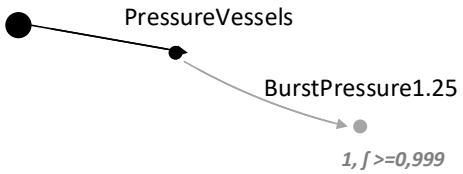



Figure 16. At Least Pattern for the pressure vessels measure

### 5.2 Traditional Patterns with Probabilities Application

In this section we illustrate how the traditional patterns with probabilities are instantiated in our case of study of Probabilistic Cube-Sat mission requirements.

The first example is the application of the Existence pattern to shape the correct desaturation of the reaction wheels' satellite's. When the reaction wheels reach its saturation limit desaturation must occur. Analyzing the telemetry data, we obtain that this behavior occurs with a probability equal or greater than 0.91. This is shown in the FVS rule in Figure 17.

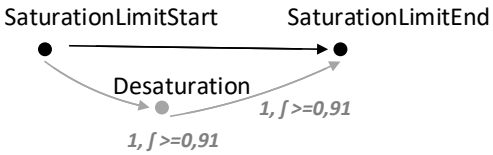



Figure 17. Reaction Wheels desaturation behavior

The Steady and the Transient patterns can be instantiated to shape requirements from the solar panel. For example, the solar panel temperature must be steady after orbiting is a requirement that is directly modeled by the Steady pattern with a probability equal or higher than 0.88. We employed the Transient pattern to model the following requirement: *The energy consumption must always be above 80% in the Starting mode* with a probability equal or higher than 0.99. This is shown in Figure 18.

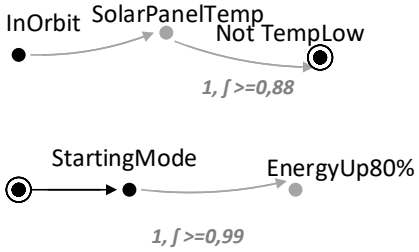



Figure 18. Transient and Steady Satellite requirements

We now model the following requirement: *The Attitude and Orbit Control Subsystem (AOCS) must monitor the control performance and attitude sensors until the final de-orbiting maneuver* with a probability greater than 0,99. This can be shaped with the Until Probabilistic pattern as it is depicted in Figure 19.

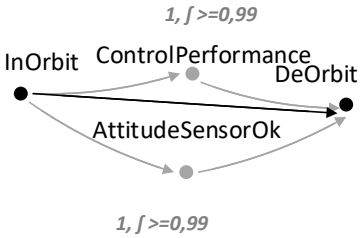



Figure 19. The Until Pattern in the Cube-Sat Example

Two more patterns application are shown next regarding the **Onboard Processor** behavior. First, we exemplified the Precedence pattern to model this requirement: *RAM contents are checked for errors before the processor is allowed to begin the reprogramming task execution* with a probability greater than 0,99. Lastly, we employed the Response pattern to state that between sensors activation every alarm must be followed by controller activation. These are shown in Figure 20.

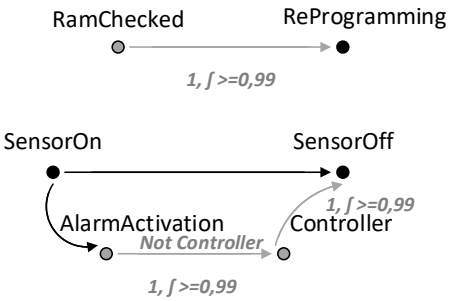



Figure 20. Requirements for the OnBoard Processor with Probabilities

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 6. Related Work

Work in [22] introduces the probabilistic version for the original specification patterns [24]. The repository of probabilistic patterns is called ProProST (Probabilistic Property Specification Templates). Besides the traditional patterns such as Response or Existence, the ProProST catalog include other patterns such as the Steady Pattern, the Transient pattern and the Invariant pattern. This set of three patterns constitute a nice feature since characteristics such as steadiness or transient are directly related to quantitative features [20].

Patterns are translated into a formal logic named CSL (Continuous Stochastic Logic) [39-40]. CTL is a classic option for continuous time models specification and it distinguish from other logics for introducing the *S* operator, capturing the notion of steadiness in long term runs of system's execution. In [22] it is claimed that the patterns could also be translated into other probabilistic temporal logics such as PCTL (Probabilistic Computation Tree Logic) [23] and PCTL* [41]. Finally, they also introduce a structured English grammar to formulate natural-language quality properties and requirements based on the developed specification patterns. The usage of this grammar eases the property specification process. In probabilistic FVS patterns are expressed through graphical scenarios that might result easier to explore and adapt to new scenarios [25].

PCTL (Probabilistic Computation Tree Logic) [23] and PCTL* [41] are two probabilistic logics that can be used to specify properties for discrete time models. Both logics are originated from the branching tree logics CTL and CTL* by exchanging the path quantifier ∃ and ∀ with a probabilistic operator *P*. Similarly, Probabilistic reward computation tree logic (PRCTL) [23]. PRCTL properties are interpreted over discrete-time Markov reward models, i.e., state machines containing states labelled with probabilities and rewards. FVS has been proved to be more expressive than regular temporal logics such as Linear Temporal Logic [32]. It would be interesting to explore the expressive power of probabilistic FVS with respect to these probabilistic logics.

Two widely known probabilistic model checkers are PRISM [42] and ETMCC [43]. One advantage of this numerical/symbolic models is their precision, but its main disadvantage is that they suffer from the state-explosion problem and high computational complexity [22].

Probabilities have been also intensively applied in cutting edge domains such as robotic and satellite missions. Work in [44] presents a very interesting set of patterns designed exclusively for shape the behavior of robotic missions. In [28] those patterns are also applied to satellite missions. These patterns for robotic missions are also extended in [21] to introduce probabilistic and quantitative aspects of formal requirements. As a distinguishable feature both quantative and robotic patterns can be combined constituting a powerful tool to specify behavior. Both kind of patterns can be also specified in probabilistic FVS with a distinctive graphical and declarative flavor. In addition, FVS behavioral specification can also be synthesized [26], which could add some potential to our approach.

Paper in [47] presents a novel technique for the formal analysis of distributed systems synthesizes formal specification and runtime verification, with specifications expressed in a domain-specific language rooted in first-order logic. They presented a challenging case of study using telemetry data from a satellite CAN bus (developed by INVAP S.E.), a mission-critical aerospace system. It would be more than interesting to explore if probabilistic FVS could be deployed in this context.

Self-Adaptive systems [8-10] can also be handled with probabilistic models due to the nature of dealing with uncertainty and adaptation. Some approaches in these directions are [17,45,46]. In [17] a fully functional framework denominated ENTRUST is presented. performs most of the verification tasks relying in known model checkers such as UPPALL [48] and PRISM [42] and a runtime probabilistic model checker to verify quantitative assertions [17]. Work in [45] shows the realization of adaptable multi-robot systems, which are capable of dealing with uncertainties by adapting their mission at runtime relying on a construction they denominate "adaptable task". Their model is validated employing two cases of studies based on real robot behavior. Finally, work in [46] present an approach for the automated reconfiguration at runtime in the robotics domain.

## 7. Future Work

We would like to continue this line of research including some of the following aspects. First of all, we would like to present formal proofs to establish that Probabilistic FVS is sound and complete. This is a natural next step and it simply implies extending the proofs of soundness and completeness of FVS [25] to cope with probabilities.

Secondly, we would like to incorporate the notion of rewards into our model [23]. Rewards is a key concept to enrich probabilistic models. We believe this could help to deepen the impact and contributions of Probabilistic FVS.

Thirdly, we would like to explore and compare FVS expressive power against other known approaches like named CSL, PCTL among others [39-41]. This exploration could help to understand which formalisms fits better under different circumstances and domains.

Fourthly, we are interested in synthesizing behavioral patterns. Behavioral synthesis [51] is an appealing technique that builds software that fulfills its specification by construction under the aegis of game theory algorithms [51]. FVS has been already explored in the behavioral synthesis world [25] so it would be to synthesize probabilistic patterns.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Finally, we would like being able to express conditional probabilities into our behavioral model. This option has been successfully explored in approaches like [49,50]. We believe this would further enrich FVS expressiveness to handle uncertainty through the use of probabilities since conditional statements are certainly powerful in this domain.

## 8. Conclusions

In this work it is exhibited the potential, flexibility and expressive power of the Probabilistic FVS language to specify behavior with probabilistic flavor. Probabilistic-FVS is capable enough to express in a declarative and graphical manner two important and different catalog of quantitative and probabilistic specification patterns. Both catalogs are shown in action in an appealing case of study, consisting of real requirements for a Cube-Sat nano-satellite mission. In addition, we build a sophisticated user-profile interaction to incorporate real and meaningful probabilities measures in our analysis.

## References

[1] Bakota, T., Hegedűs, P., Körtvélyesi, P., Ferenc, R., & Gyimóthy, T. (2011, September). A probabilistic software quality model. In 2011 27th IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM) (pp. 243-252). IEEE.

[2] Hegedűs, P., Kádár, I., Ferenc, R., & Gyimóthy, T. (2018). Empirical evaluation of software maintainability based on a manually validated refactoring dataset. Information and Software Technology, 95, 313-327.

[3] Hérault, T., Lassaigne, R., Magniette, F., & Peyronnet, S. (2004, January). Approximate probabilistic model checking. In International Workshop on Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation (pp. 73-84). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[4] Agarwal, C., Guha, S., Křetínský, J., & Pazhamalai, M. (2025). PAC statistical model checking of mean payoff in discrete-and continuous-time MDP. Formal Methods in System Design, 66(2), 195-237.

[5] Shooman, M. L. (1972). Probabilistic models for software reliability prediction. In Statistical computer performance evaluation (pp. 485-502). Academic Press.

[6] Godefroid, P., de Halleux, P., Nori, A. V., Rajamani, S. K., Schulte, W., Tillmann, N., & Levin, M. Y. (2008). Automating software testing using program analysis. IEEE software, 25(5), 30-37.

[7] Ali, H. M., Hamza, M. Y., & Rashid, T. A. (2024). A comprehensive study on automated testing with the software lifecycle. arXiv preprint arXiv:2405.01608.

[8] Weyns, D., Iftikhar, M. U., De La Iglesia, D. G., & Ahmad, T. (2012, June). A survey of formal methods in self-adaptive systems. In Proceedings of the fifth international c* conference on computer science and software engineering (pp. 67-79).

[9] Krupitzer, C., Roth, F. M., VanSyckel, S., Schiele, G., & Becker, C. (2015). A survey on engineering approaches for self-adaptive systems. Pervasive and Mobile Computing, 17, 184-206.

[10] Pekaric, I., Groner, R., Witte, T., Adigun, J. G., Raschke, A., Felderer, M., & Tichy, M. (2023). A systematic review on security and safety of self-adaptive systems. Journal of Systems and Software, 203, 111716.

[11] Carwehl, M., Vogel, T., Rodrigues, G. N., & Grunske, L. (2023). Runtime Verification of Self-Adaptive Systems with Changing Requirements. arXiv preprint arXiv:2303.16530.

[12] Vogel, T., Carwehl, M., Rodrigues, G. N., & Grunske, L. (2023). A property specification pattern catalog for real-time system verification with UPPAAL. Information and Software Technology, 154, 107100.

[13] Rodrigues, A., Caldas, R. D., Rodrigues, G. N., Vogel, T., & Pelliccione, P. (2018, May). A learning approach to enhance assurances for real-time self-adaptive systems. In Proceedings of the 13th International Conference on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (pp. 206-216).

[14] Zudaire, S., Gorostiaga, F., Sánchez, C., Schneider, G., & Uchitel, S. (2021, May). Assumption monitoring using runtime verification for UAV temporal task plan executions. In 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 6824-6830). IEEE.

[15] Bonnet, J., Gleizes, M. P., Kaddoum, E., Rainjonneau, S., & Flandin, G. (2015, September). Multi-satellite mission planning using a self-adaptive multi-agent system. In 2015 IEEE 9th International Conference on Self-adaptive and Self-organizing Systems (pp. 11-20). IEEE.

[16] Cailliau, A., & Lamsweerde, A. V. (2019). Runtime monitoring and resolution of probabilistic obstacles to system goals. ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS), 14(1), 1-40.

[17] Calinescu, R., Weyns, D., Gerasimou, S., Iftikhar, M. U., Habli, I., & Kelly, T. (2017). Engineering trustworthy self-adaptive software with dynamic assurance cases. IEEE Transactions on Software Engineering, 44(11), 1039-1069.

[18] Solano, G. F., Caldas, R. D., Rodrigues, G. N., Vogel, T., & Pelliccione, P. (2019, May). Taming uncertainty in the assurance process of self-adaptive systems: a goal-oriented approach. In 2019 IEEE/ACM 14th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS) (pp. 89-99). IEEE.

[19] Chung, L., Nixon, B. A., Yu, E., & Mylopoulos, J. (2012). Non-functional requirements in software engineering (Vol. 5). Springer Science & Business Media.

[20] Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2012). Software Architecture in Practice: Software Architect Practice_c3. Addison-Wesley

[21] Menghi, C., Tsigkanos, C., Askarpour, M., Pelliccione, P., Vazquez, G., Calinescu, R., & García, S. (2022). Mission specification patterns for mobile robots: Providing support for quantitative properties. IEEE Transactions on Software Engineering, 49(4), 2741-2760.

[22] Grunske, L. (2008, May). Specification patterns for probabilistic quality properties. In Proceedings of the 30th international conference on Software engineering (pp. 31-40).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[23] Puterman, M. L. (1990). Markov decision processes. Handbooks in operations research and management science, 2, 331-434

[24] Dwyer, M. B., Avrunin, G. S., & Corbett, J. C. (1999, May). Patterns in property specifications for finite-state verification. In Proceedings of the 21st international conference on Software engineering (pp. 411-420).

[25] Asteasuain, F., & Braberman, V. (2017). Declaratively building behavior by means of scenario clauses. Requirements Engineering, 22(2), 239-274.

[26] Asteasuain, F., Calonge, F., Dubinsky, M., & Gamboa, P. (2021). Open and branching behavioral synthesis with scenario clauses. CLEI Electronic Journal, 24(3), 1-1.

[27] Asteasuain F., Legaspi A. Freire, G, Machuca M. A Declarative and Probabilistic Behavioral Specification Language to Handle Uncertainty in Modern Software Development. CONAIISI 2024

[28] Asteasuain F, Acuña J, Machuca M. Easing the Behavior Specification for Satellite Missions. CACIC 2024.

[29] Saeed, N., Elzanaty, A., Almorad, H., Dahrouj, H., Al-Naffouri, T. Y., & Alouini, M. S. (2020). CubeSat communications: Recent advances and future challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 22(3), 1839-1862.

[30] Clarke, E. M. (1997). Model checking. In Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science: 17th Conference Kharagpur, India, December 18–20, 1997 Proceedings 17 (pp. 54-56). Springer Berlin Heidelberg.

[31] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J., & Patterns, D. (1995). Elements of reusable object-oriented software. Design Patterns, 1, 417.

[32] De Giacomo, G., & Vardi, M. Y. (2013, August). Linear Temporal Logic and Linear Dynamic Logic on Finite Traces. In Ijcai (Vol. 13, pp. 854-860).

[33] Kulu E. Nanosatellite and cubesat database. https://www.nanosats.eu/

[34] Doyle, M., Dunwoody, R., Finneran, G., Murphy, D., Reilly, J., Thompson, J., ... & Hanlon, L. (2021, June). Mission testing for improved reliability of CubeSats. In International Conference on Space Optics—ICSO 2020 (Vol. 11852, pp. 2699-2718). SPIE.

[35] Luppen, Z. A., Lee, D. Y., & Rozier, K. Y. (2021). A case study in formal specification and runtime verification of a CubeSat communications system. In AIAA Scitech 2021 forum (p. 0997).

[36] Walsh, S., Murphy, D., Doyle, M., Reilly, J., Thompson, J., Dunwoody, R., ... & McBreen, S. (2021). Development of the EIRSAT-1 CubeSat through functional verification of the engineering qualification model. Aerospace, 8(9), 254.

[37] Kwiatkowska, M., Norman, G., & Parker, D. (2018). Probabilistic model checking: Advances and applications. Formal System Verification: State-of the-Art and Future Trends, 73-121.

[38] Cunningham, K., Cox, D., Murri, D., & Riddick, S. (2011, August). A piloted evaluation of damage accommodating flight control using a remotely piloted vehicle. In AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference (p. 6451).

[39] Aziz, A., Sanwal, K., Singhal, V., & Brayton, R. (1996, July). Verifying continuous time Markov chains. In International Conference on Computer Aided Verification (pp. 269-276). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[40] Baier, C., Katoen, J. P., & Hermanns, H. (1999, August). Approximative symbolic model checking of continuous-time Markov chains. In International Conference on Concurrency Theory (pp. 146-161). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg

[41] Aziz, A., Singhal, V., Balarin, F., Brayton, R. K., & Sangiovanni-Vincentelli, A. L. (1995, July). It usually works: The temporal logic of stochastic systems. In International Conference on Computer Aided Verification (pp. 155-165). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[42] Kwiatkowska, M., Norman, G., & Parker, D. (2004). Probabilistic symbolic model checking with PRISM: A hybrid approach. International journal on software tools for technology transfer, 6(2), 128-142.

[43] Hermanns, H., Katoen, J. P., Meyer-Kayser, J., & Siegle, M. (2003). A tool for model-checking Markov chains. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, 4(2), 153-172.

[44] Menghi, C., Tsigkanos, C., Pelliccione, P., Ghezzi, C., & Berger, T. (2019). Specification patterns for robotic missions. IEEE Transactions on Software Engineering, 47(10), 2208-2224.

[45] Filippone, G., Piñera García, J. A., Autili, M., & Pelliccione, P. (2024, April). Handling uncertainty in the specification of autonomous multi-robot systems through mission adaptation. In Proceedings of the 19th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (pp. 25-36).

[46] Peldszus, S., Brugali, D., Strüber, D., Pelliccione, P., & Berger, T. (2025). Software reconfiguration in robotics. Empirical Software Engineering, 30(3), 1-51.

[47] Lopez Pombo, C; Suez E. Vaccarezza, J. Verification of distributed systems through the analysis of communication data: preliminary ideas. ASSE- JAIIO-2025

[48] Larsen, K. G., Pettersson, P., & Yi, W. (1997). UPPAAL in a nutshell. International journal on software tools for technology transfer, 1, 134-152.

[49] Legay, A., Lukina, A., Traonouez, L. M., Yang, J., Smolka, S. A., & Grosu, R. (2019). Statistical model checking. In Computing and software science: state of the art and perspectives (pp. 478-504). Cham: Springer International Publishing.

[50] Ji, M., Wu, D., Li, Y., & Chen, Z. (2013). Counterexample Generation for Conditional Probability in Probabilistic Model Checking. J. Comput., 8(12), 3272-3279.

[51] Klein, U., Piterman, N., & Pnueli, A. (2012, January). Effective synthesis of asynchronous systems from GR (1) specifications. In International Workshop on Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation (pp. 283-298). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[52] Pavese, E., Braberman, V., & Uchitel, S. (2010, May). My model checker died! how well did it do?. In Proceedings of the 2010 ICSE Workshop on Quantitative Stochastic Models in the Verification and Design of Software Systems (pp. 33-40).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[53] Pavese, E., Braberman, V., & Uchitel, S. (2009, August). Probabilistic environments in the quantitative analysis of (non-probabilistic) behaviour models. In Proceedings of the 7th joint meeting of the European software engineering conference and the ACM SIGSOFT symposium on The foundations of software engineering (pp. 335-344).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Hacia una mejora de la capacidad de producción en entornos ágiles: revisión, evidencia empírica y propuesta preliminar

*Nicolás Tortosa, César J. Acuña, Florencia González, Ezequiel Machuanín, Yoel Maraín, Chiara Diez.*
*Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC)*
*Facultad Regional Resistencia – Universidad Tecnológica Nacional*
*French 414, Resistencia, Chaco, Argentina*
*{nicotortosa, csr.acn, Floo.G1096, ezequieladrianmachuanin, JMarain62, diezchiara}@gmail.com*

## Resumen

*La estimación de esfuerzo en procesos ágiles sigue siendo un desafío crítico, con impacto directo en la planificación, la previsibilidad y la calidad de los entregables. Este trabajo presenta los avances del proyecto "Métodos, técnicas y herramientas para mejorar y evaluar la capacidad de producción en agilidad", desarrollado en el CInApTIC-UTN. Los aportes se estructuran en tres ejes: (i) una revisión sistemática de la literatura que evidencia la coexistencia de enfoques manuales —como Planning Poker y Story Points— con métodos automatizados basados en aprendizaje automático, aún con baja validación industrial; (ii) una encuesta aplicada a 42 profesionales de la región, que confirma la escasa sistematización de la estimación y la influencia de factores internos y externos; y (iii) una propuesta preliminar de método basado en Planning Poker asistido por IA. Los resultados contribuyen a reducir la brecha entre teoría y práctica, fundamentando futuras validaciones empíricas.*

## 1. Introducción

En el desarrollo ágil de software, la estimación de esfuerzo continúa siendo una de las actividades más complejas y a la vez más influyentes en el éxito de los proyectos. Su papel central radica en la capacidad de orientar la planificación de sprints, predecir la velocidad del equipo y anticipar los recursos necesarios para cumplir con entregas incrementales. Sin embargo, la práctica muestra que equilibrar precisión y adaptabilidad en ciclos cortos de entrega sigue siendo un reto no resuelto [1], [2].

A diferencia de los enfoques tradicionales de estimación, apoyados en descomposición detallada de tareas y especificaciones completas, la estimación ágil se caracteriza por su naturaleza relativa, colaborativa y dinámica. Habitualmente se utilizan técnicas como Story Points o Planning Poker, en las que la comparación entre historias de usuario sustituye a la búsqueda de exactitud numérica [3]. Esta aproximación favorece la participación del equipo y la adaptación a cambios, pero también introduce subjetividad y dispersión en los resultados [4].

Diversos estudios han señalado que la heterogeneidad en las prácticas de estimación conduce a desviaciones frecuentes en cronogramas, incrementa los costos y, en muchos casos, compromete la calidad de los entregables [5], [6]. Incluso reportes como el State of Agile Report reconocen que la dificultad para estimar constituye una de las principales barreras en la adopción de la agilidad, mencionada por más del 12% de los profesionales encuestados [7].

En la literatura reciente se observa un crecimiento de propuestas que buscan superar estas limitaciones. Por un lado, se mantienen vigentes las técnicas basadas en juicio experto y consenso —ejemplo de ello son Planning Poker, Wideband Delphi y los checklist de verificación— que destacan por su facilidad de adopción, aunque con alto grado de variabilidad [8], [9]. Por otro lado, se han explorado enfoques automatizados, apoyados en modelos estadísticos, aprendizaje automático y algoritmos de optimización, capaces de mejorar la precisión en contextos específicos, pero dependientes de la disponibilidad de datos históricos y con escasa integración en la práctica real [10], [11]. Esta dualidad configura un panorama en el que no existe aún un método unificado ni validado extensivamente.

Frente a esta situación, resulta evidente la necesidad de conectar evidencia académica con práctica industrial. La mayoría de las propuestas identificadas en la literatura carece de validación empírica a gran escala, mientras que en la industria persiste una implementación parcial, intuitiva o asistemática de la estimación [12]. Así, se configura una brecha entre teoría y práctica que limita el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



impacto de la estimación como componente crítico de la gestión ágil de proyectos.

En este sentido, y en el marco del proyecto de investigación y desarrollo "Métodos, técnicas y herramientas para mejorar y evaluar la calidad de la capacidad de producción de entregables dentro de un proceso ágil de desarrollo de software" (PID SIECRE0008608TC), en curso en el Centro de Investigación Aplicada en TIC (CInApTIC) de la Universidad Tecnológica Nacional, se busca fortalecer el Agile Quality Framework (AQF) [13], [14], ampliando su cobertura hacia la capacidad de producción de entregables y, particularmente, hacia la mejora de la estimación como factor determinante de la calidad.

Asi, como parte de la etapa de caracterización del problema, se llevaron a cabo dos estudios complementarios:

- Una revisión sistemática de la literatura (RSL), que permitió sintetizar métodos, técnicas y prácticas propuestas en la última década, clasificando sus fortalezas y limitaciones[1].
- Una encuesta transversal aplicada a 42 profesionales de la industria del software en Argentina y países limítrofes, que aportó evidencia sobre el estado actual de la práctica, los desafíos recurrentes y la efectividad percibida de las técnicas empleadas.

Ambos estudios confirmaron la coexistencia de enfoques diversos, la baja estandarización en la práctica y la influencia de factores internos (experiencia del equipo, definición de requisitos, complejidad técnica) y externos (presión de stakeholders, cambios frecuentes de requerimientos) sobre la calidad de la estimación.

A partir de estos hallazgos se comenzado a trabajar, en una propuesta para definir: un método de estimación ágil basado en Planning Poker enriquecido con la asistencia de inteligencia artificial (IA). El objetivo es que la IA no sustituya el juicio humano, sino que lo complemente mediante mecanismos de consenso asistido, validación con datos históricos y retroalimentación adaptativa. Con ello, se busca reducir la dispersión, mejorar la precisión y fortalecer la trazabilidad del proceso, alineando el carácter colaborativo de la estimación ágil con el potencial de las tecnologías emergentes.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se presentan los resultados alcanzados hasta el momento del proyecto, que incluyen una revisión sistemática de la literatura y una encuesta empírica aplicada a profesionales de la industria. La Sección 3 ofrece un análisis y discusión de estos hallazgos, destacando sus implicancias para la investigación y la práctica profesional. La Sección 4 desarrolla en detalle la propuesta metodológica de estimación asistida por un agente inteligente, describiendo sus objetivos, fases de operación, arquitectura y diferenciación respecto del estado del arte. Finalmente, la Sección 5 reúne las conclusiones del trabajo y plantea las principales líneas de investigación futura

[1] Actualmente el artículo completo se encuentra atravesando un proceso de revisión en una revista indexada por lo que no es posible referenciar.

## 2. Trabajos Previos

Como se ha dicho previamente, las actividades presentadas en este artículo se enmarcan en un proyecto de I+D mencionado en la Introducción, cuyo propósito central es mejorar la capacidad de producción de entregables dentro de procesos ágiles de desarrollo de software. Para caracterizar el problema a resolver y, en línea con la Ingeniería de Software Empírica (ISE), se emplearon dos técnicas ampliamente reconocidas en este campo: la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), para sintetizar la evidencia científica disponible sobre métodos, técnicas y prácticas de estimación en entornos ágiles; y una encuesta aplicada a profesionales de la industria, el fin de complementar la visión académica proporcionada por la RSL. Estas técnicas, ampliamente documentadas en la literatura de ISE [15], [18], [19], se complementan entre sí: mientras la RSL aporta una visión académica global, la encuesta proporciona una mirada contextualizada de la práctica en la región.

### 2.1 Revisión Sistemática de la Literatura (RSL)

La RSL tuvo como objetivo sintetizar la evidencia científica disponible sobre métodos, técnicas y prácticas de estimación en entornos ágiles, identificando tendencias, limitaciones y vacíos de investigación.

Para llevarlo a cabo se adoptó el protocolo propuesto por Kitchenham y Charters [15], considerado un estándar en Ingeniería de Software Empírica por su capacidad de minimizar sesgos. La estrategia de búsqueda se diseñó mediante el método PICOC, que permitió definir con precisión la población de estudio, la intervención de interés, las comparaciones posibles, los resultados esperados y el contexto de aplicación. Con este marco se consultaron cinco bases de datos de referencia —IEEE Xplore, ACM DL, SpringerLink, ScienceDirect y Scopus—, utilizando cadenas de búsqueda que abarcaron tanto términos clásicos de la estimación ágil, como "Planning Poker" y "Story Points", como expresiones más recientes vinculadas a enfoques automatizados, tales como "machine learning estimation" o "agile effort prediction".

Del corpus inicial, compuesto por más de 400 publicaciones, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión que aseguraron la pertinencia de los trabajos y se llevó a cabo un proceso de evaluación de calidad, lo que permitió reducir el conjunto a 30 estudios primarios de alta calidad publicados entre 2015 y 2025. El análisis de este material evidenció la existencia de dos grandes líneas de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



trabajo. Por un lado, los enfoques manuales basados en consenso, entre los que destacan Planning Poker, Story Points y Wideband Delphi [1], [16], valorados por su facilidad de adopción y capacidad de fomentar la participación, aunque limitados por la alta variabilidad entre equipos y la dependencia del juicio experto. Por otro lado, los enfoques automatizados e híbridos, que incluyen modelos de regresión, estimación por analogía y técnicas de aprendizaje automático como redes neuronales [10], [17]. Estos últimos mostraron un potencial de mayor precisión, pero enfrentan barreras importantes como la necesidad de contar con datos históricos de calidad, la complejidad técnica de su implementación y la falta de validación en entornos industriales.

Un hallazgo clave es la ausencia de estandarización: cada propuesta tiende a enfocarse en un aspecto particular, sin configurarse un método unificado. Además, se confirma la brecha entre teoría y práctica, ya que muchos métodos permanecen como prototipos o estudios académicos sin evidencia de aplicación sostenida en equipos reales [8], [9].

### 2.2 Encuesta a profesionales de la industria

Con el fin de complementar la visión académica proporcionada por la RSL, se diseñó y aplicó una encuesta transversal orientada a relevar el estado actual de la práctica en equipos ágiles.

El cuestionario se construyó a partir de los hallazgos de la revisión, siguiendo las recomendaciones metodológicas de Wohlin et al. [18] y Molléri et al. [19], y fue sometido a revisión por expertos y a una prueba piloto que permitió garantizar su claridad y pertinencia.

La encuesta estuvo disponible entre junio y diciembre de 2024 y alcanzó un total de 42 respuestas válidas, en su mayoría provenientes de Argentina (83 %), aunque también participaron profesionales de Paraguay, Uruguay y Chile, lo que otorgó una mirada regional al análisis. Los encuestados se desempeñaban en equipos de entre cinco y nueve integrantes, en consonancia con lo recomendado por los marcos ágiles, y ocupaban roles diversos, entre los que predominaron los desarrolladores, seguidos por analistas, perfiles de gestión y, en menor proporción, Scrum Masters y testers. Esta heterogeneidad permitió representar múltiples perspectivas organizacionales respecto de la estimación.

Los resultados obtenidos muestran que, aunque más de tres cuartas partes de los participantes declararon trabajar bajo marcos ágiles, un 37 % reconoció no realizar prácticas de estimación de manera formal. Incluso en los equipos que sí lo hacen, la aplicación de técnicas específicas como Planning Poker resulta minoritaria, ya que solo el 22 % reportó utilizarla de manera habitual, principalmente en equipos pequeños donde se integra como parte natural de los rituales de planificación. En cuanto a los condicionantes de la práctica, los factores internos más señalados fueron la complejidad técnica, la ambigüedad de los requisitos y la heterogeneidad en la experiencia de los integrantes, mientras que entre los factores externos destacaron los cambios frecuentes de requerimientos, la falta de colaboración activa de los clientes y las presiones de tiempo o costos (ver Fig. 1 y Fig. 2).

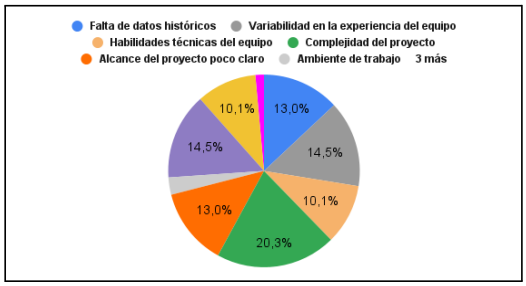



**Figura 1. Impacto de Factores internos**

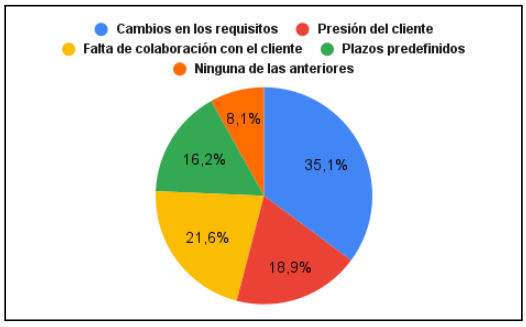



**Figura 2. Impacto de Factores externos**

Estos hallazgos refuerzan la conclusión de que la adopción de enfoques ágiles no asegura por sí misma una práctica sistemática de estimación. La calidad del proceso depende tanto de dinámicas internas del equipo como de factores externos vinculados al cliente y al contexto organizacional, lo que confirma la necesidad de avanzar hacia enfoques híbridos capaces de integrar la colaboración humana con mecanismos de apoyo tecnológico [12], [20].

## 3. Discusiones y principales desafíos

De los estudios resumidos anteriormente, se desprende que la estimación en entornos ágiles sigue siendo un desafío no resuelto, tanto en el ámbito académico como en la práctica profesional. Los resultados presentados en la Sección 2, derivados de la RSL, la encuesta empírica y la propuesta preliminar, permiten realizar un análisis crítico que pone en evidencia las brechas existentes, las oportunidades de mejora y las implicancias de este trabajo para la Ingeniería de Software Empírica y para la industria del software.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 3.1 Brecha entre teoría y práctica

La RSL mostró un panorama prolífico en propuestas académicas, que van desde técnicas basadas en consenso hasta modelos de aprendizaje automático. Sin embargo, la encuesta reveló que gran parte de los equipos no implementa prácticas formales de estimación, o lo hace de manera intuitiva y no sistemática. Esta desconexión confirma lo planteado en estudios previos [8], [9], donde se señala que la falta de validación industrial limita la transferencia de conocimiento.

La principal brecha identificada no es de cantidad de propuestas, sino de capacidad de adopción práctica. Los equipos suelen elegir soluciones simples, aunque menos precisas, mientras que las propuestas académicas tienden a ser complejas y con requisitos de datos que no siempre están disponibles en la industria. Este hallazgo sugiere que la investigación debe enfocarse menos en diseñar nuevos métodos aislados y más en adaptar, validar y contextualizar los existentes.

### 3.2 Factores internos que condicionan la estimación

Los factores internos, como la complejidad técnica, la ambigüedad de requisitos y la heterogeneidad en la experiencia del equipo, fueron señalados como los principales condicionantes de la calidad de las estimaciones. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Sinaga et al. [20], quienes destacan que la precisión de la estimación depende tanto de la claridad de los requisitos como del grado de experiencia acumulada en el equipo.

Desde la perspectiva de la práctica, esto implica que mejorar la calidad de los requisitos y promover la formación continua de los equipos son estrategias tan importantes como la elección de la técnica de estimación. Para la investigación, abre una línea de trabajo orientada a integrar la estimación con procesos de gestión de requisitos y con modelos de madurez de equipos, lo que permitiría abordar el problema de manera más holística.

### 3.3 Factores externos y su impacto en la planificación ágil

La encuesta mostró que los cambios frecuentes de requisitos y la falta de colaboración activa de los clientes son los principales factores externos que distorsionan las estimaciones. Esto refleja una tensión clásica de la agilidad: la apertura al cambio como valor central, que al mismo tiempo introduce incertidumbre en la planificación.

En la práctica profesional, esta evidencia subraya la necesidad de reforzar mecanismos de gestión de cambios y de fomentar la participación efectiva de los stakeholders. Para la investigación, plantea un reto: diseñar métodos de estimación que no solo se adapten a la variabilidad técnica, sino también a la dinámica de las relaciones con los clientes y al entorno organizacional.

### 3.4 Relevancia de la propuesta preliminar

La propuesta de integrar un asistente de IA en el proceso de Planning Poker responde de manera directa a las brechas identificadas. Al ofrecer consensos iniciales basados en históricos, trazabilidad de las deliberaciones y retroalimentación adaptativa, la propuesta se sitúa en un punto intermedio entre los enfoques manuales y los automatizados.

Para la práctica, este enfoque puede traducirse en reducción de tiempos de deliberación, mayor confianza en las estimaciones y aprendizaje continuo del equipo. Para la investigación, abre un campo aún incipiente: el estudio de la interacción humano–IA en procesos de estimación ágil, que plantea preguntas sobre confianza, aceptación y efectividad de estas herramientas en contextos reales.

### 3.5 Implicancias para la investigación y la práctica

Los hallazgos de este trabajo tienen implicancias claras:

- Para la investigación: refuerzan la necesidad de estudios empíricos longitudinales que validen métodos en contextos reales; confirman que la estimación es un fenómeno socio-técnico; y sugieren la integración de métricas de estimación en frameworks de calidad como AQF.
- Para la práctica profesional: muestran que la ausencia de estimación incrementa riesgos de plazos, costos y calidad; destacan la importancia de sistematizar prácticas; y sugieren que el apoyo de herramientas inteligentes puede reducir la carga cognitiva y aumentar la precisión sin sacrificar la colaboración del equipo.

### 3.6 Limitaciones y oportunidades de mejora

Como todo trabajo empírico, los resultados deben leerse considerando sus limitaciones. La muestra de la encuesta (42 respuestas) no permite generalizaciones estadísticas, aunque sí tendencias regionales valiosas. La propuesta metodológica aún se encuentra en etapa preliminar y requiere validación en escenarios industriales. Además, el estudio se centró en Argentina y países limítrofes, lo que plantea la oportunidad de ampliar la investigación a otros contextos culturales.

Estas limitaciones se convierten en oportunidades para futuras investigaciones, que podrán enfocarse en validar la propuesta en distintos dominios de software, en integrar la estimación con métricas de calidad de requisitos y en explorar la aceptación de herramientas de IA en equipos ágiles distribuidos.

A partir de los insumos anteriores, el proyecto avanzó hacia la etapa de innovación y experimentación, delineando una propuesta metodológica preliminar, que se explicará en más detalle en la sección 4. Esta se basa en la técnica de Planning Poker, enriquecida con un asistente de inteligencia artificial (IA) que aporta:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Consenso asistido con base en datos históricos del equipo.
- Validación y trazabilidad de las estimaciones.
- Retroalimentación adaptativa mediante aprendizaje continuo.

## 4. Propuesta preliminar: un agente inteligente para apoyar la estimación ágil

Los resultados presentados en la sección anterior evidencian que la estimación en contextos ágiles enfrenta limitaciones significativas: baja estandarización, dependencia del juicio experto, escasa validación empírica y fuerte influencia de factores internos y externos. Estas debilidades impactan directamente en la capacidad de los equipos para planificar de manera confiable y sostener la calidad de los entregables. Frente a este escenario, se plantea una propuesta preliminar que introduce un agente inteligente como asistente del proceso de estimación, con el propósito de complementar la práctica de Planning Poker y fortalecer la capacidad de producción en el marco del framework AQF. En las siguientes subsecciones se describe la motivación de la propuesta, sus objetivos, el esquema de fases que la estructura, la arquitectura y flujo de datos que la sustentan, así como las ventajas y limitaciones iniciales de esta primera aproximación.

### 4.1 Motivación y justificación

La necesidad de contar con estimaciones confiables en entornos ágiles surge de una paradoja central: mientras la agilidad promueve la adaptabilidad y la entrega temprana de valor, la planificación de estos ciclos cortos depende de predicciones que suelen ser imprecisas, subjetivas y heterogéneas. Tanto la RSL como la encuesta empírica evidenciaron que, aun cuando los equipos declaran adoptar marcos ágiles, las prácticas de estimación se aplican de manera parcial o intuitiva, con un uso limitado de técnicas reconocidas como Planning Poker y con baja integración de datos históricos. Esta situación se traduce en desviaciones recurrentes en plazos y costos, pérdida de confianza de los stakeholders y compromisos poco realistas que afectan la calidad de los entregables.

Frente a este escenario, la introducción de un agente inteligente representa una oportunidad estratégica. De acuerdo con la teoría de agentes [21], [22], un agente de software es una entidad autónoma capaz de percibir su entorno, procesar información y actuar en función de objetivos definidos. Al trasladar este concepto al ámbito de la estimación ágil, el agente se concibe como un asistente cognitivo que acompaña al equipo, percibiendo entradas (historias de usuario, estimaciones individuales, registros históricos), procesando la información mediante algoritmos de aprendizaje y devolviendo salidas en forma de consensos iniciales, reportes y recomendaciones.

La motivación no es reemplazar el juicio humano, sino potenciarlo: la incorporación de un agente inteligente permite reducir la dispersión inicial, reforzar la trazabilidad de las deliberaciones y construir un ciclo de retroalimentación adaptativa. Además, responde al vacío identificado entre enfoques manuales (colaborativos, pero poco consistentes) y automatizados (precisos, pero poco adoptados en la práctica), proponiendo un equilibrio entre la colaboración humana y el apoyo tecnológico basado en agentes.

### 4.2 Objetivos de la propuesta

La propuesta se articula en torno a objetivos que combinan la perspectiva de la Ingeniería de Software Empírica con los aportes de la teoría de agentes:

- *Complementar el juicio experto humano.* El agente se concibe bajo el paradigma de los sistemas multiagente [23], donde múltiples entidades (equipo, Product Owner, agente de IA) interactúan para alcanzar metas compartidas. El rol del agente es asistir, no sustituir, aportando información objetiva que enriquezca la deliberación colectiva.
- *Fortalecer la capacidad de producción de entregables.* La integración del agente dentro del framework AQF transforma la estimación en un componente evaluable de la calidad, aportando un mecanismo de medición y mejora continua.
- *Reducir la dispersión y acelerar el consenso.* Basándose en capacidades reactivas y de aprendizaje, el agente analiza las estimaciones individuales, las contrasta con datos históricos y propone un consenso inicial más estable, reduciendo tiempos de deliberación.
- *Mejorar la trazabilidad y transparencia.* Siguiendo principios de agentes deliberativos, el sistema registra y explica las decisiones tomadas, generando un repositorio de conocimiento útil para auditorías y revisiones posteriores.
- *Impulsar el aprendizaje adaptativo.* A través de la retroalimentación constante, el agente ajusta sus recomendaciones en función de los desvíos entre lo estimado y lo ejecutado, contribuyendo a un proceso de mejora incremental.

De esta manera, los objetivos de la propuesta se alinean tanto con las necesidades de la práctica profesional como con los principios de la teoría de agentes, incorporando autonomía, reactividad, deliberación y aprendizaje adaptativo. Estas metas constituyen la base sobre la cual se organiza el esquema metodológico del agente y las fases que estructuran su funcionamiento, que se detallan en la sección siguiente.

### 4.3 Esquema metodológico y fases de operación

En respuesta a los hallazgos mencionados, se propone un método de estimación ágil basado en Planning Poker que integra un asistente de inteligencia artificial a lo largo de todo el proceso. El agente no actúa como sustituto del juicio humano, sino como socio cognitivo del equipo, funcionando como mecanismo de validación, contraste,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



apoyo al consenso y aprendizaje contextual. Su propósito es reducir la dispersión inicial, reforzar la trazabilidad y consolidar un ciclo de mejora continua que incremente la confiabilidad de las estimaciones y, con ello, la capacidad de producción de entregables.

El método opera bajo ciertas pre-condiciones necesarias para garantizar la calidad del proceso. Las historias de usuario deben estar correctamente formuladas, con redacción clara y concisa, siguiendo el formato "como [rol], quiero [funcionalidad] para [beneficio]". Además, es recomendable que incluyan criterios de aceptación que permitan verificar los resultados esperados, representaciones visuales como mockups para favorecer una comprensión compartida, explicaciones de dependencias técnicas o funcionales, clasificación de tareas según su tipo (frontend, backend, pruebas, integración) y un grado razonable de homogeneidad que asegure comparaciones relativas más precisas. La ausencia de estas condiciones incrementa la dispersión en la deliberación, degrada la exactitud del proceso y disminuye la utilidad de las recomendaciones del asistente.

El método se articula en cuatro fases encadenadas, tal como se ve en la Fig. 3, que en conjunto buscan elevar la precisión de las estimaciones, acelerar la convergencia del equipo, mitigar riesgos y generar aprendizaje acumulativo.

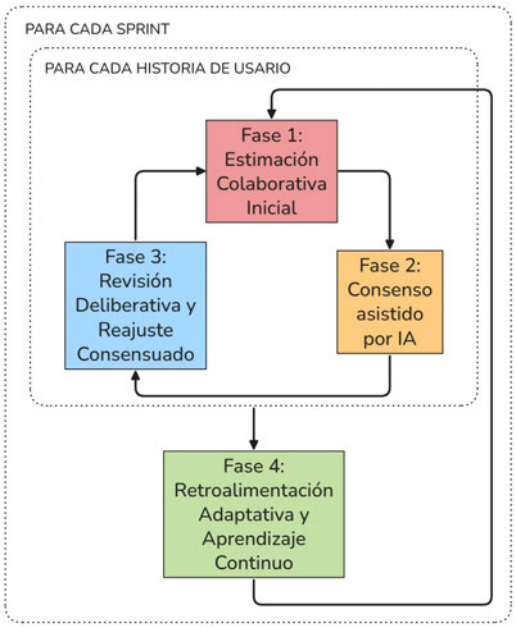



**Figura 3. Fases del desarrollo de la propuesta**

#### 4.3.1 Fase 1 – Estimación colaborativa inicial

El proceso se inicia con la lectura de la historia de usuario por parte del Product Owner, práctica que garantiza un insumo común para todo el equipo y evita interpretaciones divergentes. Esta lectura en voz alta constituye una estrategia comunicacional deliberada que asegura un entendimiento compartido, reforzado por un espacio de diálogo para aclarar dudas, señalar ambigüedades y construir modelos mentales comunes.

Posteriormente, cada miembro del equipo estima en silencio el esfuerzo requerido utilizando puntos de historia basados en la serie de Fibonacci. Esta práctica favorece la comparación relativa, reduce la ilusión de exactitud y evita sesgos cognitivos como el anclaje. Los valores se registran de forma individual en el asistente de IA, vinculados a la historia correspondiente, y se almacenan como base de conocimiento para fases posteriores.

La Fase 1 constituye así una etapa de homogeneización semántica y estabilización interpretativa. Aunque no produce aún un consenso final, garantiza que las fases siguientes se construyan sobre una base coherente, verificable y trazable.

#### 4.3.2 Fase 2 – Consenso asistido por IA y validación histórica

En esta fase, el asistente de IA entra en juego como facilitador de consenso. A partir de las estimaciones individuales y del historial acumulado del equipo, el agente sintetiza un valor de consenso ponderado acompañado de indicadores explicativos. Este cálculo no se limita a un promedio, sino que integra múltiples factores: desviaciones pasadas entre esfuerzo estimado y real, similitudes con historias previas, perfiles de experticia y riesgos asociados.

El resultado es una estimación inicial enriquecida con evidencia histórica y aprendizaje supervisado, que actúa como punto de referencia sólido para la deliberación posterior. Al presentar no solo el valor propuesto, sino también las razones detrás de él, el asistente fortalece la transparencia y la legitimidad del consenso sugerido.

#### 4.3.3 Fase 3 – Revisión deliberativa y reajuste consensuado

La tercera fase recupera el protagonismo humano. El equipo contrasta el consenso automático con su conocimiento contextual, deliberando sobre posibles ajustes y registrando las justificaciones de cada decisión. La discusión puede dar lugar a la aceptación directa del valor, a un ajuste fundamentado en evidencia (p. ej., cambios recientes en requisitos, riesgos emergentes) o a la adopción de un valor intermedio como compromiso.

Este proceso deliberativo se apoya en las explicaciones provistas por el agente, lo que permite al equipo evaluar no solo el número sugerido, sino también los supuestos y patrones históricos que lo sustentan. De esta manera, el consenso final surge de la interacción entre intuición profesional y evidencia objetiva, dando lugar a estimaciones robustas, trazables y coherentes con los objetivos del proyecto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



#### 4.3.4 Fase 4 – Retroalimentación adaptativa y aprendizaje continuo

La última fase cierra el ciclo con un proceso de aprendizaje organizacional. Una vez concluido el sprint, el asistente compara las estimaciones con los esfuerzos reales, identifica desviaciones y genera reportes con patrones de sobreestimación o subestimación, precisión individual y colectiva, y tipos de historias que requieren mayor refinamiento.

Estos análisis permiten recalibrar los parámetros del agente y mejorar sus recomendaciones en futuros sprints. Al mismo tiempo, ofrecen al equipo una retroalimentación estratégica que contribuye a optimizar sus prácticas de planificación. De este modo, la Fase 4 asegura que cada iteración se convierta en una oportunidad de mejora, fortaleciendo progresivamente la confianza en el proceso y consolidando un sistema vivo de aprendizaje adaptativo.

### 4.4 Arquitectura y flujo de datos de la propuesta

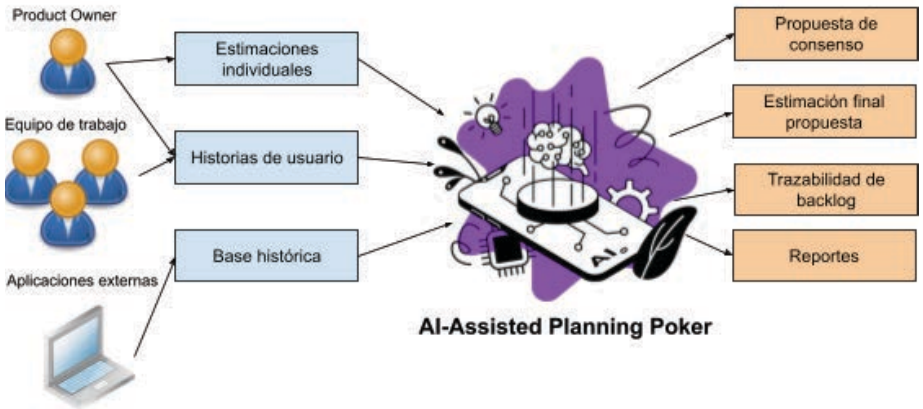
La primera aproximación de arquitectura para la propuesta que se presenta aquí, tal como se ve en la Fig. 4, se concibe como un sistema socio-técnico en el que interactúan tres actores principales: el equipo de desarrollo, el Product Owner y el agente inteligente. El flujo de datos comienza con la definición y carga de historias de usuario, que incluyen descripciones, criterios de aceptación y dependencias. Estas historias son ingresadas en el backlog, desde donde se integran tanto a las prácticas del equipo como al módulo de procesamiento del agente. Paralelamente, cada integrante del equipo introduce sus estimaciones individuales, que constituyen la primera capa de información para el sistema.

El agente recopila estas estimaciones y las combina con la base histórica, que almacena registros de historias anteriores, esfuerzos reales, desviaciones detectadas y desempeño relativo de los miembros en distintas áreas de especialización. Mediante algoritmos de aprendizaje supervisado, el agente procesa estos insumos y genera una propuesta de consenso inicial junto con explicaciones que detallan los factores más influyentes. Este consenso asistido se devuelve al equipo, que lo analiza en conjunto con sus propias percepciones, deliberando sobre la pertinencia de aceptar, ajustar o descartar la recomendación automática.

Una vez concluido el proceso de deliberación, la estimación final se registra en la herramienta de gestión del backlog, quedando vinculada con el contexto del sprint y con las justificaciones documentadas. Al cierre de cada iteración, el agente accede a los datos de ejecución real, compara resultados y ajusta sus parámetros de predicción. Este ciclo de entrada, procesamiento, salida y retroalimentación convierte al agente en un mediador activo entre la experiencia humana y la información objetiva derivada de los datos.

### 4.5 Características diferenciales de la propuesta

La propuesta de un agente inteligente para asistir en la estimación ágil se distingue de manera clara frente a los enfoques identificados en la literatura y responde directamente a las carencias observadas en la práctica profesional. Las técnicas manuales, como Planning Poker o Story Points, se han consolidado como las más difundidas en entornos ágiles debido a su simplicidad y su capacidad de fomentar la participación activa de los equipos [1], [16]. Sin embargo, los hallazgos de la encuesta confirman que su uso es limitado y que, aun cuando se aplican, presentan alta variabilidad en los resultados, dependen excesivamente del juicio experto y carecen de mecanismos de aprendizaje sistemático. En otras palabras, ofrecen colaboración pero no garantizan consistencia ni trazabilidad.



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Figura 4. Primera aproximación de arquitectura del agente.**

En el otro extremo, los enfoques automatizados basados en modelos de regresión, algoritmos de analogía o aprendizaje profundo [10], [17] han mostrado en estudios controlados una mayor precisión potencial en la predicción del esfuerzo. No obstante, su adopción industrial es prácticamente nula. Entre las principales razones se encuentran la dificultad de integrar estos modelos en la dinámica de trabajo ágil, la necesidad de grandes volúmenes de datos históricos que no siempre están disponibles, y la escasa interpretabilidad de los resultados para los equipos que los utilizan. Estos factores han relegado a dichos enfoques a un plano principalmente experimental o académico, sin impacto real en la práctica cotidiana de la industria [8], [9].

La propuesta aquí presentada busca situarse en un punto intermedio que capitaliza las fortalezas de ambos mundos y supera sus limitaciones. En primer lugar, mantiene el carácter colaborativo y participativo de las técnicas manuales, asegurando que la estimación siga siendo una actividad de equipo donde el conocimiento tácito y el contexto juegan un rol central. En segundo lugar, incorpora las capacidades de análisis y aprendizaje propias de los enfoques automatizados, pero lo hace de manera gradual y transparente, generando consensos asistidos en lugar de predicciones opacas. Así, se ofrece un equilibrio entre colaboración humana e inteligencia artificial, garantizando que los equipos sigan siendo dueños del proceso, pero con soporte adicional que mejora la precisión y la trazabilidad.

Desde la perspectiva de la industria, la propuesta intenta responder a tres necesidades clave detectadas en la encuesta y en reportes internacionales como el State of Agile [7]. La primera es la necesidad de reducir la dispersión y el tiempo invertido en la estimación, un desafío especialmente crítico en equipos distribuidos o con alta rotación. La segunda es la de mejorar la confianza y la transparencia en el proceso, dado que las decisiones de planificación afectan directamente a clientes y stakeholders que demandan mayor previsibilidad y justificación de los compromisos asumidos. La tercera necesidad es la de incorporar mecanismos de aprendizaje organizacional que permitan a los equipos evolucionar en sus prácticas y no repetir errores estimativos de forma sistemática.

En comparación con el estado del arte, la principal diferenciación de esta propuesta es que no plantea un método completamente nuevo ni un algoritmo aislado, sino la integración de un agente inteligente dentro de un proceso ya conocido y aceptado por la industria: Planning Poker. Este detalle no es menor, ya que facilita la adopción al no requerir que los equipos cambien radicalmente sus prácticas, sino que introduce un acompañamiento incremental que se adapta a su dinámica actual. En este sentido, la propuesta responde a una preocupación recurrente en la literatura: la brecha entre métodos académicos y prácticas industriales, ofreciendo un puente que combina rigor empírico y viabilidad práctica.

La propuesta no compite con los enfoques existentes, sino que los complementa y conecta, ofreciendo una alternativa híbrida que atiende tanto a la colaboración humana como a la explotación de datos históricos. Esta característica la convierte en una contribución novedosa, alineada con las necesidades actuales de la industria del software, donde la agilidad no solo exige adaptabilidad, sino también consistencia, transparencia y capacidad de aprendizaje continuo.

La Tabla 1 sintetiza las diferencias entre los enfoques manuales, los automatizados y la propuesta híbrida presentada en este trabajo, mostrando cómo la combinación de colaboración humana y soporte inteligente busca superar las debilidades identificadas en ambos extremos.

**Tabla 1. Comparación entre enfoques de estimación en agilidad**

| CARACTERÍSTICA | ENFOQUES MANUALES (PLANNING POKER, STORY POINTS, WIDEBAND DELPHI) | ENFOQUES AUTOMATIZADOS (REGRESIÓN, ML, REDES NEURONALES) | PROPUESTA HÍBRIDA (PLANNING POKER + AGENTE INTELIGENTE) |
|---|---|---|---|
| Naturaleza | Basados en consenso y juicio experto. | Basados en modelos matemáticos y datos históricos. | Colaboración humana enriquecida con soporte de IA. |
| Fortalezas | Simplicidad, fomento de la participación, fácil participación | Potencial de mayor precisión, análisis objetivo de datos. | Equilibrio entre colaboración y consistencia, transparencia y aprendizaje adaptativo |
| Debilidades | Alta variabilidad, | Requieren grandes volúmenes | Depende de datos históricos |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | |
|---|---|---|---|
| | dependencia de experiencia, falta de trazabilidad. | de datos, baja adopción industrial. | iniciales, aún sin validación en la industria |
| Aporte a la calidad | Limitado, sin integración sistemática en otros entornos | Teórico, con bajo impacto en la práctica profesional. | Integrado al AQF, orientado a mejorar la capacidad de producción de entregables. |

### 4.6 Validación futura de la propuesta

El agente inteligente para apoyar la estimación ágil se encuentra actualmente en etapa de diseño conceptual y arquitectónico. La siguiente fase del proyecto estará centrada en su validación, concebida como un proceso gradual y multimodal que combine distintas estrategias de la Ingeniería de Software Empírica. La validación se organizará en tres niveles complementarios.

En primer lugar, se plantea una validación experimental en contextos controlados, donde equipos académicos y grupos piloto de la industria utilicen el agente en la planificación de sprints simulados. Este enfoque permitirá evaluar dimensiones como el tiempo necesario para alcanzar consenso, la dispersión entre estimaciones y la percepción de utilidad del agente.

En segundo lugar, se prevé la realización de estudios de caso longitudinales en organizaciones reales. Estos estudios permitirán observar el comportamiento del agente a lo largo de múltiples iteraciones de desarrollo, identificando patrones de mejora o posibles sesgos acumulados. La comparación entre estimaciones y esfuerzos reales en distintos dominios de aplicación (p. ej., sistemas web, móviles o embebidos) será clave para determinar la validez externa de la propuesta.

Finalmente, se contempla una etapa de encuestas y entrevistas a profesionales que utilicen el agente, con el objetivo de relevar percepciones sobre confianza, aceptación y facilidad de integración. Este componente es fundamental para abordar la dimensión sociotécnica de la validación, ya que la efectividad del sistema no solo depende de su precisión técnica, sino también de su capacidad de ser adoptado culturalmente por los equipos.

En conjunto, este plan de validación busca garantizar que la propuesta no quede circunscrita al plano conceptual, sino que evolucione hacia una herramienta empíricamente respaldada y adaptable a distintos contextos de la industria del software.

### 4.7 Limitaciones iniciales y oportunidades de evolución

Al tratarse de una primera aproximación, la propuesta presenta un conjunto de limitaciones que deben ser reconocidas y que, al mismo tiempo, orientan futuras líneas de trabajo. Una de las principales restricciones es la dependencia de datos históricos. El desempeño del agente en la generación de consensos y recomendaciones adaptativas se apoya en la existencia de registros previos de estimaciones y esfuerzos reales. En entornos donde los equipos no disponen de esta información, o donde los datos no han sido sistematizados, la capacidad predictiva inicial se verá reducida.

Otra limitación se vincula con la ausencia de validación industrial a gran escala. Aunque el diseño del agente se fundamenta en evidencia empírica y en hallazgos consolidados de la literatura, aún no ha sido probado en contextos productivos complejos. Esto implica que las ventajas esperadas —reducción de la dispersión, trazabilidad y aprendizaje continuo— deben ser verificadas en proyectos reales, con equipos de distinto tamaño y niveles de madurez organizacional.

La aceptación cultural y organizacional representa otra restricción relevante. La introducción de agentes inteligentes en procesos colaborativos plantea desafíos de confianza y percepción. Algunos equipos pueden experimentar resistencia por considerar que la herramienta sustituye al juicio humano, o por temor a que las decisiones sean automatizadas sin suficiente transparencia. Esta preocupación ha sido señalada en la literatura sobre sistemas multiagente [21], [23], donde la explicabilidad y la capacidad de justificar recomendaciones se consideran factores clave para la adopción.

Asimismo, debe reconocerse la falta de métricas estandarizadas para evaluar el impacto del agente en las dimensiones críticas del proceso. Aspectos como la variabilidad de estimaciones, la reducción de tiempos de consenso o la satisfacción de los equipos aún no cuentan con instrumentos consolidados de medición. El desarrollo de estas métricas será necesario para evaluar la efectividad del sistema de forma objetiva y comparativa.

Lejos de debilitar la propuesta, estas limitaciones constituyen una hoja de ruta para su evolución. La construcción de repositorios de datos históricos de calidad, la validación longitudinal en proyectos industriales, el diseño de mecanismos de explicabilidad que fortalezcan la confianza y el desarrollo de métricas robustas representan oportunidades concretas de investigación y desarrollo. En este sentido, la propuesta se entiende como un punto de partida que habilita nuevas preguntas y desafíos, más que como una solución cerrada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 5. Conclusiones y trabajos futuros

Este artículo presentó los avances de un proyecto de investigación orientado a mejorar la capacidad de producción de entregables en procesos ágiles de desarrollo de software. Para ello, se mostraron los resultados de una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) que permitió mapear el estado del arte sobre técnicas de estimación en entornos ágiles, y de una encuesta empírica aplicada a 42 profesionales de la industria que ofreció una visión regional sobre el estado de la práctica. A partir de estos insumos, se delineó una propuesta preliminar que introduce un agente inteligente en el proceso de Planning Poker, con el objetivo de complementar el juicio humano mediante consensos asistidos, trazabilidad de deliberaciones y retroalimentación adaptativa.

Las principales conclusiones derivadas de este trabajo se relacionan con la existencia de una brecha persistente entre teoría y práctica en la estimación ágil. Mientras que la literatura ha producido múltiples enfoques, tanto manuales como automatizados, la encuesta evidenció que su adopción en la industria es limitada, heterogénea y, en muchos casos, inexistente. La práctica cotidiana se ve afectada por factores internos —como la complejidad técnica, la ambigüedad de requisitos y la heterogeneidad de experiencia— y externos —como la presión de los stakeholders y los cambios frecuentes de requerimientos—, que condicionan la precisión de las estimaciones y repercuten directamente en la calidad de los entregables.

En este contexto, la propuesta de un agente inteligente constituye un aporte diferencial al situarse en un punto intermedio entre colaboración humana y automatización. No pretende sustituir el consenso del equipo, sino enriquecerlo mediante el análisis de datos históricos y el aprendizaje adaptativo, lo que le otorga un carácter híbrido que responde tanto a los vacíos de la literatura como a las necesidades de la industria. Al integrarse al framework AQF, la propuesta también amplía el alcance de este marco, incorporando la estimación como componente clave de la calidad del proceso.

Los trabajos futuros se orientan en varias direcciones complementarias. En primer lugar, se prevé avanzar en la validación experimental de la propuesta en contextos controlados, con equipos académicos y pilotos industriales, midiendo su impacto en variables como dispersión de estimaciones, tiempo de consenso y satisfacción de los participantes. En segundo lugar, se desarrollarán estudios de caso longitudinales en organizaciones reales, lo que permitirá contrastar los beneficios esperados con resultados efectivos en distintos dominios de aplicación. En tercer lugar, se diseñarán y aplicarán métricas específicas para evaluar la contribución del agente a la calidad del proceso de estimación, incluyendo indicadores de confiabilidad, transparencia y aceptabilidad. Finalmente, se contempla el desarrollo de una herramienta software que implemente la propuesta e integre sus funcionalidades con gestores de backlog, habilitando trazabilidad automática y soporte a la mejora continua.

Este trabajo abre una agenda que combina la rigurosidad de la investigación empírica con la aplicabilidad inmediata en la industria, en un momento en que la confianza en la planificación ágil constituye un factor crítico para la sostenibilidad de proyectos de software.

## Agradecimientos

Este trabajo se enmarca en las actividades relacionadas con el proyecto de investigación y desarrollo “Métodos, técnicas y herramientas para mejorar y evaluar la calidad de la capacidad de producción de entregables dentro de un proceso ágil de desarrollo de software” (PID SIECRE0008608TC), correspondiente al Centro de Investigación Aplicada a TIC (CInApTIC) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia, de la provincia del Chaco, Argentina.

## Referencias

[1] Cohn, M. Agile Estimating and Planning. Pearson Education, 2005.

[2] Grimstad, S., Jørgensen, M., & Moløkken-Østvold, K. “Software effort estimation terminology: The tower of Babel.” Information and Software Technology, 48(4), 302–310, 2006.

[3] Cohn, M. Planning Poker. Mountain Goat Software, 2006.

[4] Popli, R., & Chauhan, N. (2018). A sprint point based tool for agile estimation. In Software Engineering: Proceedings of CSI 2015 (pp. 63-72). Singapore: Springer Singapore.

[5] McConnell, S. Software Estimation: Demystifying the Black Art. Microsoft Press, 2006.

[6] Serrador, P., & Pinto, J. K. “Does Agile work?—A quantitative analysis of agile project success.” International Journal of Project Management, 33(5), 1040–1051, 2015.

[7] Digital.ai. 17th State of Agile Report. 2023.

[8] Usman, M., Mendes, E., Weidt, F., & Britto, R. “Effort estimation in agile software development: a systematic literature review.” Proceedings of PROMISE, 2014.

[9] Fernández-Diego, M., et al. “An update on effort estimation in agile software development: A systematic literature review.” IEEE Access, 8, 166768–166800, 2020.

[10] Kaushik, A., Tayal, D. K., & Yadav, K. “Effort estimation for agile and non-agile software projects using deep belief networks.” Arabian Journal for Science and Engineering, 45(4), 2605–2618, 2020.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[11] Vyas, M., & Hemrajani, N. "Predicting effort of agile software projects using regression models." International Journal of Tech. Phys. Problems Eng., 13(2), 14–19, 2021.

[12] Sandeep, R. C., Sánchez-Gordón, M., Colomo-Palacios, R., & Kristiansen, M. "Effort estimation in agile software development: practitioners' perspective." Lean and Agile Software Development, Springer, 2022.

[13] Pinto, N., Tortosa, N., Geat, B. C., Ibáñez, L., & Bollati, V. "Quality evaluation of agile processes: Measurement of requirements management using AQF v2." QUATIC, IEEE, 2018.

[14] Pinto, N. Framework for Quality Assessment of Agile Software Projects. PhD Thesis, Universidad Nacional de La Plata, 2020.

[15] Kitchenham, B., & Charters, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. EBSE Technical Report, 2007.

[16] Stellman, A., & Greene, J. Applied Software Project Management. O'Reilly Media, 2005.

[17] Dawson, C. W. "A neural network approach to software project effort estimation." WIT Transactions on ICT, 16, 2025.

[18] Wohlin, C., Runeson, P., Höst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., & Wesslén, A. Experimentation in Software Engineering. Springer, 2012.

[19] Molléri, J. S., Petersen, K., & Mendes, E. "An empirically evaluated checklist for surveys in software engineering." Information and Software Technology, 119, 106240, 2020.

[20] Iqbal, M., Ijaz, M., Mazhar, T., Shahzad, T., Abbas, Q., Ghadi, Y., ... & Hamam, H. (2024). Exploring issues of story-based effort estimation in Agile Software Development (ASD). Science of Computer Programming, 236, 103114.

[21] Wooldridge, M., & Jennings, N. R. "Intelligent agents: Theory and practice." The Knowledge Engineering Review, 10(2), 115–152, 1995.

[22] Russell, S., & Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson, 4th edition, 2020.

[23] Wooldridge, M. An Introduction to MultiAgent Systems. Wiley, 2009.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Conflictos por Pares en Proyectos de Software: Un Estudio Empírico

*Agustín Olmedo*
*LIDTUA (CIC), Facultad de Ingeniería, Universidad Austral, Buenos Aires, Argentina*
*aolmedo@austral.edu.ar*

## Resumen

*El Desarrollo Basado en Pull (PbD) se destaca como un enfoque ampliamente utilizado en el desarrollo colaborativo de software. Los administradores de proyecto desempeñan un papel clave en este enfoque de desarrollo, al ser responsables de revisar e integrar las solicitudes de extracción. Los conflictos por pares ocurren cuando dos solicitudes de incorporación de cambios se envían simultáneamente para una misma rama destino, cada una sugiriendo modificaciones diferentes para las mismas partes del código. Esto resulta en tareas de resolución de conflictos que requieren tiempo y son propensas a errores. El objetivo de este artículo es comprender los factores que influyen en la ocurrencia de conflictos por pares en proyectos de software que siguen el enfoque PbD. Para ello, generamos un clasificador binario de proyectos no conflictivos/conflictivos basado en datos de 1243 proyectos de código abierto alojados en GitHub. El clasificador generado muestra una precisión promedio del 74.53% y una recuperación promedio del 91.80%. A partir de las explicaciones del clasificador, verificamos que los proyectos con mucha actividad son más propensos a tener conflictos por pares.*

**Palabras clave:** *Desarrollo de Software Colaborativo, Pull-based Development, Pull Request, Conflictos por pares.*

## Introducción

Los Sistemas de Control de Versiones Distribuidos (DVCS, del inglés Distributed Version Control System) han revolucionado el desarrollo colaborativo de software al proporcionar a cada desarrollador una copia local personal de todo el historial del proyecto [1]. Los desarrolladores realizan cambios en sus copias locales y posteriormente los integran en una nueva versión compartida. En estos sistemas, ante cambios simultáneos, los conflictos deben resolverse durante el proceso de integración [2]. Este enfoque descentralizado mejora la colaboración y permite flujos de trabajo de desarrollo más eficientes y flexibles [3].

El Desarrollo Basado en Pull (PbD, de inglés Pull-based Development) se erige como un enfoque destacado en el desarrollo colaborativo de software [4-5]. En este enfoque, los colaboradores inician desarrollos en nuevas ramas, divergiendo de la última versión presente en la rama de desarrollo principal [6]. Cada colaborador trabaja de forma independiente, utilizando su copia individual de los archivos del proyecto para modificarlos. Al finalizar una tarea de desarrollo, el colaborador envía una solicitud de incorporación de cambios (PR, del inglés Pull Request) para proponer la integración de sus cambios en la rama de desarrollo principal. Este flujo de trabajo colaborativo y distribuido permite una revisión de código eficiente y garantiza que el equipo central, compuesto por administradores de proyecto, pueda evaluar cuidadosamente y fusionar los cambios propuestos en la base de código principal del proyecto.

Los conflictos por pares ocurren cuando se envían simultáneamente dos solicitudes de incorporación de cambios (PRs) para una misma rama destino, cada una sugiriendo diferentes modificaciones para las mismas partes del código. En caso de conflictos por pares, es posible la integración automática del primer PR, mientras que el otro requiere una resolución de conflictos para conciliar los cambios divergentes y permitir una integración exitosa. La resolución de conflictos es una tarea costosa y propensa a errores [2].

Los administradores de proyecto asumen la responsabilidad de revisar e integrar los PRs abiertos en la base de código principal del proyecto. Esta función supone una carga de trabajo considerable. Realizar revisiones de código exhaustivas, evaluar las implicaciones de los cambios propuestos y abordar posibles conflictos requiere una cantidad considerable de tiempo y atención. Las dificultades inherentes a este proceso se hacen evidentes al tratar con PRs conflictivos, ya que los administradores de proyecto deben unificar las divergencias del código y diseñar una resolución de conflictos eficaz. Gestionar con éxito estas responsabilidades implica un amplio conocimiento del código base del proyecto, una comunicación eficaz con los colaboradores y habilidades de resolución de problemas para mantener la coherencia y la funcionalidad del proyecto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En un trabajo anterior [8], calculamos la frecuencia de conflictos por pares para 260 proyectos de código abierto. En dicho trabajo observamos que la mitad de los proyectos presentaban un número moderado o alto de conflictos por pares, mientras que la otra mitad presentaba un número bajo o nulo de conflictos por pares. Este hallazgo nos motiva a investigar los factores que provocan conflictos por pares en un proyecto de software, de manera que se pueda ayudar a optimizar el trabajo de los administradores de proyectos.

El objetivo de este artículo es comprender las razones de la ocurrencia de conflictos por pares en proyectos de software que siguen el modelo PbD, analizando los factores que influyen en la existencia de conflictos por pares en un proyecto. En concreto, buscamos responder a las siguientes preguntas de investigación:

P1. ¿Las características de un proyecto de software influyen en la ocurrencia de conflictos por pares?

P2. ¿Las características de las contribuciones influyen en la ocurrencia de conflictos por pares?

P3. ¿Las características de cómo se gestionan las contribuciones en el proyecto influyen en la ocurrencia de conflictos por pares?

Nuestro estudio se basa en datos de 1243 proyectos de código abierto alojados en GitHub que siguen el enfoque de desarrollo PbD. Con estos datos, generamos un clasificador binario de proyectos no conflictivos/conflictivos, del cual extraemos los factores que aumentan la probabilidad de que un proyecto presente conflictos por pares. Los resultados demuestran la validez del enfoque propuesto para la clasificación de proyectos no conflictivos/conflictivos, utilizando métricas de los proyectos y PRs, ya que obtuvimos un clasificador con una precisión promedio del 74,53 % y una recuperación promedio del 91,80 %. A partir de la explicación del clasificador generado, basada en la importancia y la contribución de las características, respondemos a las preguntas de investigación propuestas.

El resto de este artículo se estructura de la siguiente manera. La sección 2 incluye los trabajos relacionados. La sección 3 explica el diseño de la investigación mientras que en la sección 4 se muestran los resultados obtenidos. En la sección 5 se discuten los resultados respondiendo a las preguntas de investigación. La sección 6 aborda las amenazas a la validez antes de ofrecer conclusiones y perspectivas para este trabajo.

## Trabajos Relacionados

En un trabajo previo [8], realizamos un estudio empírico que busca comprender qué tan frecuentes son los conflictos por pares en proyectos de software gestionados con DVCS y analizar cuánto se puede mejorar el proceso de integración realizado en la historia de los proyectos de software estableciendo como línea base los resultados obtenidos por la metodología IP Optimizer [7]. En el presente trabajo, realizamos un estudio empírico para profundizar la comprensión de las razones de la ocurrencia de conflictos por pares en los proyectos de software que utilizan el modelo PbD.

El modelo de desarrollo basado en pull (PbD) ha moldeado significativamente el panorama del desarrollo colaborativo de software. Se han realizado varios estudios empíricos para profundizar en su funcionalidad, analizando el mismo desde diferentes perspectivas: desde la perspectiva general [4, 53, 54], desde la perspectiva del colaborador [55-56] y desde la perspectiva de los administradores de proyectos [5, 7, 8].

En el contexto del desarrollo de software distribuido, el primer paso para incorporar modificaciones implica una evaluación exhaustiva de las contribuciones propuestas, que abarca aspectos técnicos [4, 5, 57, 58] y sociales [53, 74, 16, 76]. Este trabajo se basa en un aspecto técnico del desarrollo de software distribuido: los conflictos por pares, aunque nuestro análisis no corresponde al proceso de revisión de PR, sino al proceso de integración.

En el contexto de la revisión de PR, varios estudios exploran sistemáticamente las complejidades temporales de los PRs, dilucidando los factores de latencia [4, 16, 55, 57, 59, 58], mientras que otros profundizan en los determinantes multifacéticos que influyen en la aceptación de los PRs [5, 51, 53, 60, 61]. Además, la investigación introduce diversos marcos metodológicos para priorizar estratégicamente los PRs, con el objetivo de mitigar la latencia y aumentar las tasas de aceptación [12, 13, 18, 62, 63]. Simultáneamente, las investigaciones en curso presentan procedimientos que recomiendan al administrador de proyecto más adecuado para revisar cada PR, lo que contribuye al esfuerzo continuo por acortar los tiempos de latencia [18, 64, 65, 66, 67].

Por otro lado, dada la naturaleza descoordinada y distribuida del modelo de desarrollo PbD, con frecuencia se produce una duplicación de PRs significativa. Normalmente, solo la primera PR aprobada por los revisores puede integrarse en la rama principal del repositorio, y los PRs posteriores son considerados duplicados por los administradores del proyecto. Esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



proliferación de duplicaciones supone una carga significativa para los administradores del proyecto, lo que impide el progreso evolutivo de los repositorios de código abierto. La falta de detección rápida de PRs duplicados puede provocar que los colaboradores y revisores dediquen tiempo y esfuerzo innecesarios a tareas redundantes. En respuesta a este desafío, se han realizado varios estudios para desarrollar métodos automatizados de identificación de PR duplicados, con el objetivo de minimizar la pérdida de tiempo asociada al trabajo redundante [25, 26, 68, 69].

En cuanto a los conflictos entre PRs (es decir, conflictos por pares), las investigaciones exploran su frecuencia de ocurrencia, su impacto en la integración de PRs y la similitud de los cambios involucrados [24, 70].

Finalmente, existen trabajos que profundizan en la identificación de los factores subyacentes que contribuyen a la aparición de conflictos de integración [71-77]. Entre los factores que más influyen en la ocurrencia de conflictos de integración están: el número de *commits*, el número de colaboradores y el número de archivos modificados. Muchos trabajos también tienden a destacar que el tiempo que una rama está aislada y la falta de comunicación son factores que influyen significativamente en la presencia de conflictos. Vale et al. [50] estudian la relación entre la actividad de comunicación y los conflictos de integración. No encontraron una relación fuerte sino que depende de las características de los escenarios de integración. Nuestra investigación también se esfuerza por identificar los factores que influyen en la ocurrencia de conflictos de integración pero entre pares de PRs dentro de un proyecto.

## Configuración del Estudio Empírico

Realizamos un estudio empírico sobre proyectos alojados en GitHub[1] que utilizan PRs de forma intensiva. Extrajimos la información sobre los proyectos y sus PRs principalmente del conjunto de datos GHTorrent[2] [10].

La Figura 1 ilustra el diseño del estudio empírico que consta de tres etapas. La primera etapa consiste en la construcción de un conjunto de datos de características de los proyectos de software. La segunda etapa consiste en generar un clasificador de proyectos no conflictivos/ conflictivos utilizando el conjunto de datos construido en la etapa anterior. Por último, la tercera etapa consiste en analizar el clasificador de proyectos no conflictivos/conflictivos generado para poder explicar los factores que hacen que un proyecto puede ser conflictivo o no. A continuación se detallan cada una de las etapas.

### Construcción del conjunto de datos

Dado que GHTorrent contiene datos de todos los repositorios públicos de GitHub y nuestra investigación se centra en proyectos de software que reciben contribuciones a través de PRs, es fundamental seleccionar cuidadosamente los proyectos que se alinean con nuestro enfoque de investigación. Para seleccionar los proyectos definimos cuatro criterios de selección:

- **Proyectos oficiales**, es decir, no se consideran los proyectos bifurcados.
- **Proyectos activos.**
- **Proyectos de software.** Seleccionamos los proyectos que se implementan en los 25 lenguajes de programación más populares según el ranking PYPL [11]: Python, Java, JavaScript, C#, C/C++, PHP, R, TypeScript, Objective-C, Swift, Matlab, Kotlin, Go, Rust, Ruby, VBA, Ada, Scala, Visual Basic, Dart, Abap, Lua, Groovy, Perl, Julia.
- **Proyectos que usan PRs de forma intensiva.** Proyectos que tienen en promedio al menos 5 PRs nuevos por mes.

Como resultado de aplicar estos criterios de selección, quedaron seleccionados 1243 proyectos. Luego, extraemos los PRs y los *commits* de los proyectos seleccionados de la base de datos GHTorrent para poder calcular los conflictos por pares a partir de los historiales de proyectos en un paso posterior.

Además de extraer la información del conjunto de datos GHTorrent, utilizamos la API de GitHub[3] para obtener información adicional sobre cada proyecto y cada uno de sus PRs. Por un lado, para calcular los conflictos por pares necesitamos información que GHTorrent no tiene, a saber, la rama por defecto de los proyectos y la rama de destino de los PRs. Por otro lado, nos interesa obtener datos de los PRs para su posterior análisis. Estos son: el número de *commits*, el número de archivos modificados, el número de adiciones y el número de eliminaciones. Por otro lado, agregamos al conjunto de datos la información sobre el número de líneas de código (LoC) y el número de archivos de cada proyecto. Para esto, utilizamos la herramienta CLOC[4] para obtener esta información de la última versión de la rama

[1] https://github.com/

[2] El conjunto de datos GHTorrent tiene datos de todos los repositorios públicos de GitHub hasta el 1 de junio de 2019.

[3] https://docs.github.com/en/rest

[4] https://github.com/AlDanial/cloc

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



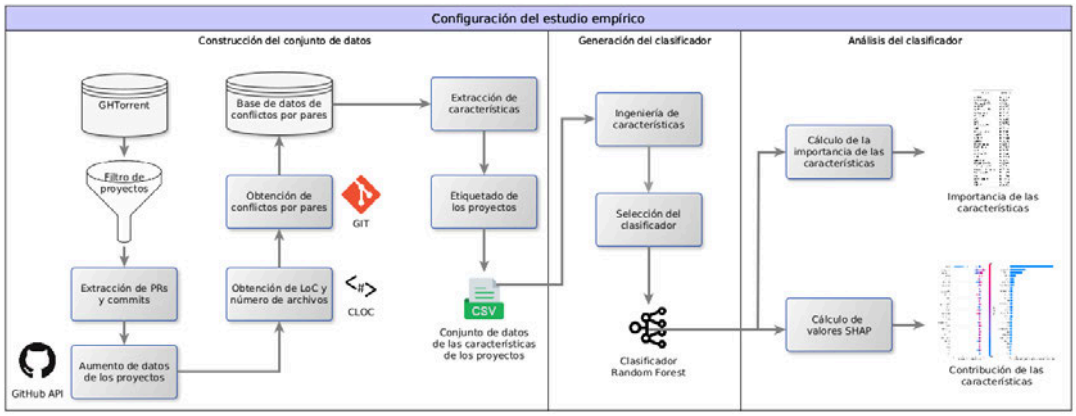



**Figura 1. Diseño del estudio empírico.**

predeterminada del repositorio local de GitHub del proyecto.

Como siguiente paso, obtenemos los conflictos por pares de cada proyecto a partir de su historial de versiones en GitHub. Las condiciones para que exista un conflicto por pares son:

1. Los PRs deben estar abiertos simultáneamente durante un período de tiempo.
2. La rama de destino de los PRs involucrados debe ser la misma.
3. Los cambios aplicados en las versiones de las ramas de origen de los PRs involucrados deben estar en conflicto.

Por lo tanto, para obtener los conflictos por pares ocurridos en el historial del proyecto, buscamos los conflictos por pares que tuvo cada PR. Para ello, para un PR dado, buscamos los PRs que se hayan abierto o cerrado mientras el PR estaba abierto (primera condición) y que tengan definida la misma rama de destino (segunda condición). Luego, verificamos si hay conflictos entre el PR dado y cada PR candidato (tercera condición) realizando una integración en memoria[5] de la versión principal[6] de la rama origen de cada PR.

A partir de la base de datos de conflictos por pares se genera un archivo CSV con las características de cada proyecto. La Tabla 1 muestra las características extraídas para los proyectos de la base de datos de conflictos por pares. La selección de características se basa en trabajos previos en las áreas de latencia y aceptación de PRs [4, 12, 13, 14, 15], revisión de código [16-19], clasificación de errores [20-21] y PRs en competencia [22-24].

Las características seleccionadas se dividen en tres categorías:

- **Características del proyecto:** cuantifican el nivel de actividad del proyecto, el tamaño y la estructura del código, el número de colaboradores y su madurez.
- **Características de los PRs:** miden el tamaño y la complejidad promedio de los cambios propuestos al proyecto.
- **Características de la gestión de PRs:** cuantifican la forma en que los administradores de proyectos gestionan los PRs, gracias a su vida útil promedio, el tiempo de integración entre ellos, el porcentaje de PR integrados en un periodo de dos semanas (duración habitual de los sprints en metodologías ágiles [25]) y cómo realizan las revisiones según el promedio de comentarios.

[5] https://git-scm.com/docs/git-merge
[6] Versión en la que se crea el PR

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 1. Características extraídas para cada proyecto.**

| Categoría | Característica | Descripción |
|---|---|---|
| Características del proyecto | NoCommits | Número de commits |
| | NoPRs | Número de PRs |
| | NoMergedPRs | Número de PRs integrados |
| | PoMergedPRs | Porcentaje de PRs integrados |
| | NoRejectedPRs | Número de PRs rechazados |
| | PoRejectedPRs | Porcentaje de PRs rechazados |
| | ICT | Tiempo entre commits (horas) |
| | MICT | Mediana del tiempo entre commits (horas) |
| | IPRT | Tiempo entre PRs (horas) |
| | MIPRT | Mediana del tiempo entre PRs (horas) |
| | NoFiles | Número de archivos |
| | Loc | Número de líneas de código |
| | LoCbyFiles | Líneas de código por archivo |
| | Age | Antigüedad del proyecto |
| | Forks | Número de bifurcaciones |
| | NoCommiters | Número de colaboradores |
| Características de los PRs | CommitsByPR | Número promedio de commits por PR |
| | ChangedFilesByPR | Número promedio de archivos modificados por PR |
| | AdditionsByPR | Número promedio de adiciones por PR |
| | DeletionsbyPR | Número promedio de eliminaciones por PR |
| Características de la gestión de PRs | PRT | Tiempo promedio de vida de los PRs |
| | MPRT | Tiempo medio de vida de los PRS |
| | IMPRT | Tiempo promedio entre PRs integrados |
| | MIMPRT | Mediana del tiempo entre PRs integrados |
| | PoMPRTW | Porcentaje promedio de PRs integrados en períodos de 2 semanas |
| | PoMMPRTW | Mediana del porcentaje de PRs integrados en períodos de 2 semanas |
| | CommentsByPR | Número promedio de comentarios por PR |
| | NoPRsDF | Número de PRs dirigidos a la rama de desarrollo principal |
| | PoPRsDF | Porcentaje de PRs dirigidos a la rama de desarrollo principal |

Por último, etiquetamos automáticamente los proyectos como no conflictivos (No-CP) y conflictivos (CP). Un proyecto se considera conflictivo cuando presenta al menos un conflicto por pares en su historial. De lo contrario, se considera no conflictivo. Como resultado de este proceso de etiquetado, obtenemos 585 proyectos etiquetados como CP y 658 proyectos etiquetados como no-CP.

## Generación del clasificador

En esta sección, detallamos el proceso para generar el clasificador de proyectos no conflictivo/conflictivo. Para esto, pre-procesamos los datos del conjunto de características del proyecto y entrenamos varios modelos de aprendizaje automático para generar clasificadores binarios que distingan entre proyectos conflictivos y no conflictivos. Tras el entrenamiento, comparamos el rendimiento de los clasificadores generados y seleccionamos el que presenta el mejor rendimiento general.

Para mejorar la eficiencia de la clasificación, se lleva a cabo una fase crucial de pre procesamiento conocida como ingeniería de características [26].

Como primer paso en la ingeniería de características, abordamos el problema de la alta asimetría de los datos. Una alta asimetría en los datos introduce una gran varianza en las estimaciones, lo que reduce el rendimiento del clasificador. La transformación logarítmica sirve para mitigar esta asimetría, promoviendo predicciones más estables y fiables. Por lo tanto, para obtener la asimetría de los datos, utilizamos el método de asimetría proporcionado por pandas[7]. Cuando la asimetría de la variable es menor que -1 o mayor que 1, la variable es asimétrica [27]. Como resultado, obtuvimos 22 variables asimétricas. Por lo tanto, aplicamos una transformación logarítmica a estas variables para reducir la asimetría. Además, para mitigar el impacto de los valores atípicos y estandarizar los datos con variables que presentan diversas escalas y unidades, empleamos el método StandardScaler[8] [28]. Este paso garantiza la consistencia y facilita comparaciones significativas entre las características.

Luego generamos 6 clasificadores binarios distintos para evaluar su rendimiento: Logistic Regression (LR)

[7] https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.skew.html

[8] https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.StandardScaler.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[29], k-Nearest Neighbors (kNN) [30], Support Vector Machine (SVM) [31], Multi-Layer Perceptron (MLP) [32], Random Forest (RF) [33] y Stochastic Gradient Descent (SGD) [34]. Elegimos los modelos SVM, LR y kNN por su eficacia conocida en conjuntos de datos pequeños [35], mientras que elegimos los modelos SGD, RF y MLP para el análisis comparativo con modelos más complejos. Empleando la API de Scikit-learn[9] [36], realizamos entrenamiento y pruebas en estos clasificadores utilizando nuestro conjunto de datos etiquetados.

Los hiper parámetros de un modelo de aprendizaje automático son parámetros cuyo valor se utiliza para controlar el proceso de entrenamiento [37]. Durante el proceso de entrenamiento, ajustar los valores de los hiper parámetros influye significativamente en el rendimiento del modelo. Por lo tanto, establecer valores correctos para los hiper parámetros proporciona mejores clasificaciones. Para ello, utilizamos un algoritmo de *Grid-Search*[10] [38] para ajustar los valores de los hiper parámetros. *Grid-Search* es un método de fuerza bruta que busca la combinación óptima de valores de parámetros utilizando su producto cartesiano para un espacio de hiper parámetros específico (hipercubo). Aunque existen muchos otros métodos para ajustar los hiper parámetros, consideramos que la mejora obtenida utilizando *Grid-Search* es suficiente.

Para evaluar robustamente el rendimiento de los clasificadores, utilizamos un protocolo de validación cruzada estratificada de *k-fold*[11] [39]. En la validación cruzada de *k-fold*, los datos de muestra se dividen en k subconjuntos. Uno de los subconjuntos se utiliza como datos de prueba y el resto (k-1) como datos de entrenamiento. El proceso de validación cruzada se repite durante k iteraciones con cada uno de los posibles subconjuntos de datos de prueba. La estratificación implica que el criterio empleado para dividir los datos en subconjuntos garantiza que cada uno tenga la misma proporción de observaciones con un valor categórico dado. Optamos por un k pequeño (k=4) y una versión estratificada debido al tamaño modesto del conjunto de datos. Esta elección garantiza que los subconjuntos de prueba mantengan la distribución de los datos originales, manteniendo así la representatividad de todos los datos de los proyectos.

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos de los hiper-parámetros ajustados y los resultados experimentales para cada clasificador mediante la aplicación de la ingeniería de características y el ajuste de los hiper-parámetros mediante *Grid-Search*. El modelo Random Forest resulta ser el clasificador con mejor rendimiento (cifras en negrita). Por lo tanto, para el resto del análisis se utiliza el clasificador Random Forest.

**Tabla 2. Resultados obtenidos con clasificadores SciKit utilizando una validación cruzada estratificada *4-fold*.**

| Clasificador | Parámetros optimizados | F1-Score |
|---|---|---|
| **RF** | **criterion='entropy', max features='sqrt', n estimators=200, random state=42** | **0.8218 (IC 95%: 0.0562)** |
| MLP | activation='logistic', hidden layer sizes=(10, 30, 10), learning rate='constant', random state=0, solver='adam' | 0.7628 (IC 95%: 0.0373) |
| KNN | algorithm='ball tree', n neighbors=4, p=1, weights='uniform' | 0.6434 (IC 95%: 0.0194) |
| SGD | alpha=0.0001, learning rate='invscaling', loss='hinge', tol=0.1 | 0.6425 (IC 95%: 0.0787) |
| LR | C=0.1500000000000 0002, random state=0, solver='sag', tol=0.1 | 0.6274 (IC 95%: 0.1464) |
| SVM | C=0.9, gamma='auto', kernel='rbf', random state=0, tol=0.1 | 0.6209 (IC 95%: 0.0781) |

## Análisis del clasificador

Tras seleccionar el clasificador, realizamos un análisis del mismo para poder explicar cuando el modelo indica que un proyecto es conflictivo o no. De esta manera, buscamos comprender los factores que determinan si un proyecto es conflictivo o no. Para ello, analizamos la importancia de las características [40, 41] y su contribución al modelo [9].

La importancia de las características cuantifica la importancia general de cada característica en el rendimiento del modelo [40]. Mide cuánto contribuye una característica a la capacidad del modelo para realizar predicciones precisas. Por lo tanto, la importancia de las características se utiliza para identificar cuáles tienen la mayor influencia en las predicciones del modelo. Con lo cual, la importancia de las características ayuda en la selección de características [42] y en la comprensión del comportamiento del modelo [41].

[9] https://scikit-learn.org/stable/modules/classes.html
[10] https://scikit-learn.org/stable/modules/grid_search.html
[11] https://scikit-learn.org/stable/modules/cross_validation.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La importancia de las características se puede calcular mediante diversos métodos, incluyendo métodos basados en árboles (p. ej., Gini impurity, information gain) [43] y permutation importance [40]. Para calcular la importancia de las características, utilizamos el método basado en impurezas[12] [44]. La Tabla 3 muestra las importancias de las características basadas en impurezas correspondientes al clasificador Random Forest. Los valores de importancia de las características varían de 0 a 1.

**Tabla 3. Importancia de la característica basada en la disminución media de la impureza.**

| Característica | Importancia |
|---|---|
| NoPRs | 0.273331 |
| NoMergedPRs | 0.062240 |
| CommitsByPR | 0.049216 |
| NoPRsDF | 0.048873 |
| NoRejectedPRs | 0.032134 |
| NoCommits | 0.029898 |
| PoPRsDF | 0.027645 |
| AGE | 0.027463 |
| ICT | 0.027455 |
| PoMergedPRs | 0.026121 |
| MICT | 0.024556 |
| PoRejectedPRs | 0.024386 |
| IMPRT | 0.023788 |
| NoFiles | 0.022981 |
| MIPRT | 0.022802 |
| NoCommiters | 0.022617 |
| LoCbyFiles | 0.022452 |
| NoForks | 0.022396 |
| PoMPRTW | 0.021903 |
| IPRT | 0.021821 |
| MIMPRT | 0.021730 |
| DeletionsbyPR | 0.020560 |
| AdditionsByPR | 0.020510 |
| ChangedFilesByPR | 0.020199 |
| CommentsByPR | 0.019994 |
| LoC | 0.019361 |
| PoMMPRTW | 0.018237 |
| PRT | 0.016981 |
| MPRT | 0.008350 |

[12] https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/inspection/plot_permutation_importance.html

Por otro lado, la contribución de las características se refiere al efecto específico de cada característica en la predicción para una instancia de datos en particular [45, 46]. Proporciona información sobre cómo las características individuales influyen en la predicción de una observación dada. Ayuda a comprender por qué un modelo realizó una predicción específica para un punto de datos específico.

Para abordar el reto de explicar los algoritmos de aprendizaje automático, se han desarrollado diversos métodos independientes de la tecnología para comprender la contribución de las características en el proceso de clasificación. Estas técnicas de explicación se aplican post-hoc, lo que significa que analizan los clasificadores tras su entrenamiento con datos. Entre estos métodos se encuentran feature permutation [36], Local Interpretable Model-agnostic Explanation (LIME) [47], las explicaciones aditivas SHapley (SHAP) [48] y Anchors [49]. Para explicar nuestro clasificador Random Forest, optamos por el método SHAP. Combinamos la explicación SHAP con nuestro protocolo estratificado *4-fold* para explicar los resultados en cada subconjunto. Los valores de contribución de características obtenidos con SHAP se almacenan para cada subconjunto y, posteriormente, se calculan las medias de cada característica con base en estos valores. La Figura 2 muestra los resultados de la explicación del clasificador Random Forest utilizando el método SHAP.

## Resultados

El clasificador binario generado muestra una buena medida F1 (0.8218) y una buena exactitud (0.8185). Además, el equilibrio entre la recuperación (0.9180) y la precisión (0.7453) es bastante significativa.

La Tabla 3 muestra la importancia de las características obtenidas del clasificador generado. El número de PRs (NoPR) es la característica que más influye en las predicciones del modelo. Con mucha menor influencia, le siguen el número de PRs integrados (NoMergedPRs), el promedio de *commits* por PR (CommitsByPR) y el número de PRs dirigidas a la rama de desarrollo principal (NoPRsDF).

La Figura 2 muestra los resultados de la explicación del clasificador generado utilizando el método SHAP. Observamos que tres características tienen un impacto preponderante en la clasificación: el número de PRs (NoPR), el número de PRs integrados (NoMergedPR) y el promedio de *commits* por PR (CommitsByPR). En el caso del número de PRs del proyecto, podemos ver que los proyectos que tienen pocos PRs son clasificados como no

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



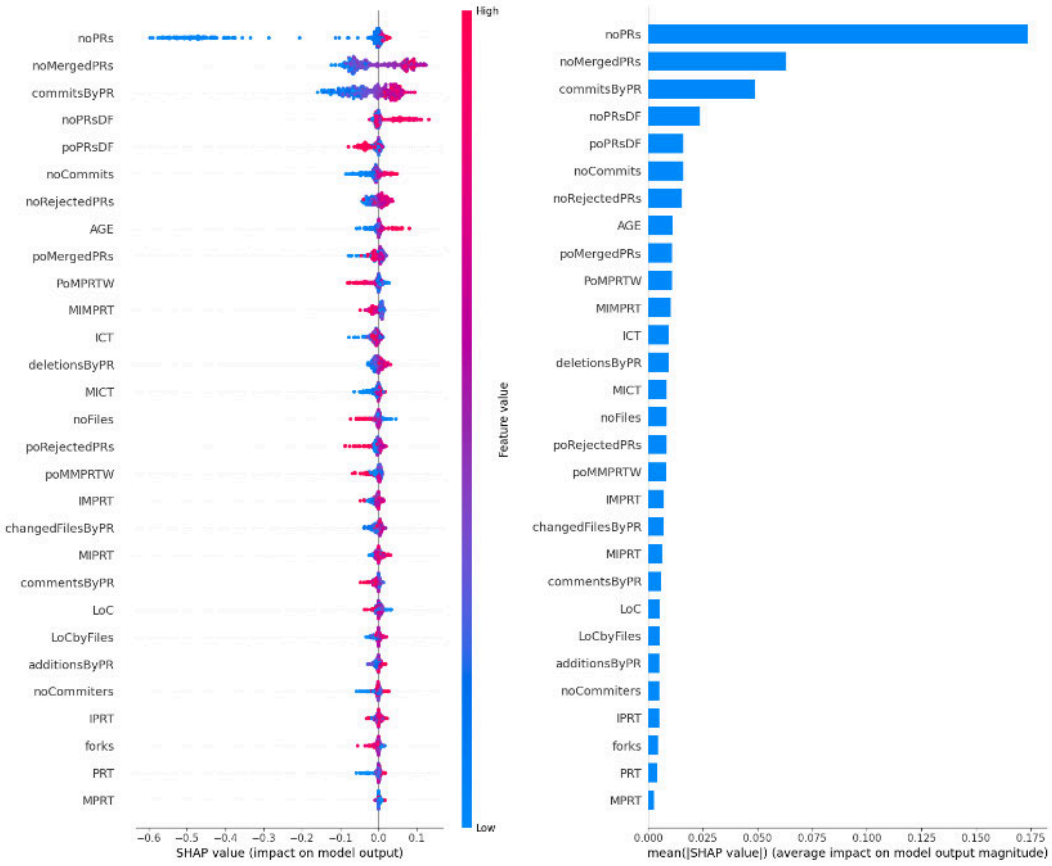



**Figura 2. Contribución de características. Valores SHAP.**

conflictivos por el modelo. En el caso del número de PRs integrados, podemos ver que en la mayoría de los casos en los que el modelo clasifica como conflictivos a los proyectos, estos tienen un número alto de PRs integrados. Por último, con respecto al promedio de *commits* por PR, podemos ver que en la mayoría de los proyectos que el modelo clasifica como no conflictivos tiene un número bajo de *commits* por PR. Además, con un valor Shap menor, también el número de PRs dirigidas a la rama de desarrollo principal (NoPRsDF) influyen en que el modelo clasifique un proyecto como conflictivo o no. En particular, podemos ver que los proyectos que el modelo clasifica como conflictivos tienen un número alto de PRs dirigidos a la rama de desarrollo principal.

Cabe destacar que tanto la importancia de las características como la contribución de las mismas a que el modelo clasifique un proyecto como conflictivo o no dieron un resultado similar para las características que más aportan al modelo.

## Discusión

En esta sección discutimos los resultados y respondemos las preguntas de investigación.

P1. ¿Las características de un proyecto de software influyen en la ocurrencia de conflictos por pares?

Por lo que mencionamos en la sección anterior, las características del proyecto que influyen a que el modelo clasifique un proyecto como conflictivo o no son el número de PRs y el número de PRs integrados en el proyecto. Esto nos indica que la actividad del proyecto y los cambios que se incorporan efectivamente en el mismo, son factores que podemos considerar que influyen en la ocurrencia de conflictos por pares en los proyectos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



P2. ¿Las características de las contribuciones influyen en la ocurrencia de conflictos por pares?

De las características que consideramos de los PRs, podemos ver que la que más influye a que el modelo clasifique un proyecto como conflictivo o no es el número de *commits* por PR. Por lo tanto, podemos considerar que esta característica de las contribuciones influye en la ocurrencia de conflictos por pares en el proyecto.

En particular, según comentamos en la explicación del modelo, cuando en promedio hay un número bajo de *commits* por PR, el modelo clasifica los proyectos como no conflictivos. Por lo tanto, es recomendable que haya pocos *commits* por PR para reducir la probabilidad de que haya conflictos por pares.

P3. ¿Las características de cómo se gestionan las contribuciones en el proyecto influyen en la ocurrencia de conflictos por pares?

De las características que seleccionamos de la categoría "Características de la gestión de PRs", podemos ver que el número de PRs dirigidos a la rama principal de desarrollo es la característica que más influye a que el modelo clasifique a un proyecto como conflictivo o no. Este resultado tiene sentido ya que los conflictos por pares ocurren sólo cuando los PRs están dirigidos a la misma rama destino. Por lo tanto, si en general los PRs están dirigidos a la rama de desarrollo principal entonces hay más probabilidad de que haya conflictos por pares.

## Amenazas a la validez

Analizamos cuidadosamente las amenazas a la validez basándonos en el trabajo de Feldt y Magazinius [52], que analiza los diferentes tipos de amenazas a la validez planteados en la investigación empírica de ingeniería de software. Para cada tipo de amenaza a la validez, mencionamos las amenazas detectadas y la estrategia de mitigación asociada.

**Validez del constructo.** Para analizar los proyectos, extrajimos datos de i) la base de datos relacional GHTorrent, ii) la API de GitHub y iii) el repositorio local de GitHub de cada proyecto. Las diferencias en los datos proporcionados por cada fuente de datos pueden generar resultados diferentes, lo que introduce sesgo en los datos utilizados en nuestro análisis. Uno de los escenarios en los que se podría introducir un sesgo en los datos utilizados en nuestro análisis es cuando el PR se actualiza durante su ciclo de vida con nuevos commits que realizan diferentes modificaciones. Por lo tanto, podría haber una diferencia entre el número de commits, archivos modificados, adiciones y eliminaciones entre la versión utilizada para obtener los conflictos por pares y la última versión del PR. El problema del sesgo en los datos se mitiga por el número de proyectos y PRs que utilizamos para el análisis, que es lo suficientemente grande como para que el posible sesgo introducido no influya en los resultados. Otro problema que puede ocasionar la compresión de commits es que, en algunos casos, la versión utilizada para obtener los conflictos no se encuentra en el repositorio local de GitHub y no se puede encontrar un conflicto de pares ocurrido en el historial. La amenaza relacionada con la omisión de conflictos de pares también se ve mitigada por el número de proyectos, ya que la cantidad de conflictos de pares y proyectos con conflictos que encontramos es lo suficientemente grande como para tener datos relevantes.

**Validez interna.** Podría argumentarse que los proyectos o su gestión han cambiado desde el año en que contamos con datos (junio de 2019). Este problema se mitiga gracias a la cantidad y diversidad de proyectos incluidos en el análisis. También podría argumentarse que el análisis no se realiza en todos los proyectos de software siguiendo el enfoque PbD. Priorizamos los proyectos con una frecuencia promedio de PR de al menos 5 PRs al mes, ya que de esta manera garantizamos que el proyecto reciba contribuciones a través de PR regularmente e incluimos todos los casos relevantes. Este problema se mitiga gracias a la cantidad de proyectos que utilizamos para realizar el análisis, ya que el número de proyectos encontrados es lo suficientemente grande como para obtener datos relevantes.

**Validez de la conclusión.** En cuanto al modelo generado para determinar los factores que hacen que un proyecto sea conflictivo o no, se podría argumentar que no hay suficientes proyectos para obtener un modelo robusto. Sin embargo, consideramos que el número de proyectos y sus características son suficientemente representativos para obtener información relevante. Por un lado, porque generamos muchos modelos, varios de los cuales funcionan bien con conjuntos de datos pequeños, y por otro, porque el rendimiento del modelo generado es óptimo.

**Validez externa.** Debido a que es necesario tomar PRs donde la rama de origen y la rama de destino se encuentran en el mismo repositorio para obtener el historial de conflictos por pares, no podemos analizar completamente los proyectos que utilizan el flujo de trabajo de bifurcación 22, muy popular en el desarrollo de software de código abierto. Asimismo, consideramos que obtuvimos un número suficiente de proyectos con conflictos por pares, lo que nos permite generalizar los resultados para aplicarlos a proyectos que también utilizan este flujo de trabajo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Conclusiones

En este artículo, realizamos un estudio empírico sobre 1243 proyectos de código abierto alojados en GitHub que utilizan PRs de manera intensiva para profundizar la comprensión de los factores que influyen en la ocurrencia de conflictos por pares en un proyecto de software.

Construimos un clasificador binario de proyectos conflictivos y no conflictivos para extraer los factores que determinan si un proyecto es conflictivo o no. El clasificador binario generado muestra una buena medida F1 (0.8218) y una buena exactitud (0.8185). El equilibrio entre la recuperación (0.9180) y la precisión (0.7453) es bastante significativo. A partir del análisis del clasificador, encontramos que el factor más influyente en la ocurrencia de conflictos por pares es la cantidad de PRs que tiene el proyecto. Por lo tanto, los proyectos que tienen mucha actividad tienen más probabilidad de que tengan conflictos por pares. Otros factores que encontramos que podrían influir en menor medida son: el número de PRs integrados, el promedio de *commits* por PR y el número de PRs dirigidas a la rama de desarrollo principal.

Como conclusión de este trabajo destacamos que en los proyectos con una actividad considerable, sus administradores tendrán un esfuerzo mayor en gestionar y resolver los conflictos por pares de las contribuciones que les envíen los colaboradores del mismo. Sin embargo, a partir de los datos extraídos encontramos que no todos los proyectos con muchos PRs tienen conflictos por pares y tampoco encontramos una cantidad proporcional de conflictos según los PRs del proyecto. Esto nos abre la perspectiva de estudiar qué acciones podrían hacer los administradores de proyectos para reducir la cantidad de conflictos por pares. Tenemos la hipótesis de que el flujo de trabajo usado en el proyecto puede ser un factor relevante para reducir los conflictos por pares y también la comunicación entre los colaboradores y los administradores de proyecto. Quedará como perspectiva de este trabajo validar dichas hipótesis.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Austral el apoyo financiero. Parte de este trabajo fue financiado por el XX Concurso Interno de Proyectos de Investigación Científica de la Universidad Austral.

## Referencias

[1] C. Rodríguez-Bustos, J. Aponte, How distributed version control systems impact open source software projects, in: 2012 9th IEEE Working Conference on Mining Software Repositories (MSR), IEEE, 2012, pp. 36–39.

[2] T. Mens, A state-of-the-art survey on software merging, IEEE transactions on software engineering 28 (5) (2002) 449–462.

[3] J. C. C. Rios, S. M. Embury, S. Eraslan, A unifying framework for the systematic analysis of git workflows, Information and Software Technology 145 (2022) 106811.

[4] G. Gousios, M. Pinzger, A. v. Deursen, An exploratory study of the pull-based software development model, in: Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering, 2014, pp. 345–355.

[5] G. Gousios, A. Zaidman, M.-A. Storey, A. Van Deursen, Work practices and challenges in pull-based development: The integrator's perspective, in: 2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference on Software Engineering, Vol. 1, IEEE, 2015, pp. 358–368.

[6] C. Bird, T. Zimmermann, Assessing the value of branches with what-if analysis, in: Proceedings of the ACM SIGSOFT 20th International Symposium on the Foundations of Software Engineering, 2012, pp. 1–11.

[7] A. Olmedo, G. Arévalo, I. Cassol, C. Urtado, S. Vauttier, Improving integration process efficiency through pull request prioritization, in: ENASE 2022-17th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering, SCITEPRESS-Science and Technology Publications, 2022, pp. 62–72.

[8] A. Olmedo, G. Arévalo, I. Cassol, C. Urtado, S. Vauttier, Pull requests integration process optimization: An empirical study, in: Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering: 17th International Conference, ENASE 2022, Virtual Event, April 25-26, 2022, Revised Selected Papers, Springer, 2023.

[9] E. Štrumbelj, I. Kononenko, Explaining prediction models and individual predictions with feature contributions, Knowledge and information systems 41 (2014) 647–665.

[10] G. Gousios, The ghtorrent dataset and tool suite, in: Proceedings of the 10th Working Conference on Mining Software Repositories, MSR '13, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2013, pp. 233–236. URL http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2487085.2487132

[11] PYPL, Pypl popularity of programming language homepage. https://pypl.github.io/pypl.html. (2025). URL https://pypl.github.io/PYPL.html

[12] M. I. Azeem, Q. Peng, Q. Wang, Pull request prioritization algorithm based on acceptance and response probability, in: 2020 IEEE 20th International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS), IEEE, 2020, pp. 231–242.

[13] M. I. Azeem, S. Panichella, A. Di Sorbo, A. Serebrenik, Q. Wang, Action-based recommendation in pull-request development, in: Proceedings of the International Conference on Software and System Processes, 2020, pp. 115–124.

[14] Y. Yu, H. Wang, V. Filkov, P. Devanbu, B. Vasilescu, Wait for it: Determinants of pull request evaluation latency on github, in: 2015 IEEE/ACM 12th working conference on mining software repositories, IEEE, 2015, pp. 367–371.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[15] D. Moreira Soares, M. L. de Lima Júnior, L. Murta, A. Plastino, What factors influence the lifetime of pull requests?, Software: Practice and Experience 51 (6) (2021) 1173–1193.

[16] N. Saini, R. Britto, Using machine intelligence to prioritise code review requests, in: 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP), IEEE, 2021, pp. 11–20.

[17] Y. Fan, X. Xia, D. Lo, S. Li, Early prediction of merged code changes to prioritize reviewing tasks, Empirical Software Engineering 23 (6) (2018) 3346–3393.

[18] P. Thongtanunam, R. G. Kula, A. E. C. Cruz, N. Yoshida, H. Iida, Improving code review effectiveness through reviewer recommendations, in: Proceedings of the 7th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering, 2014, pp. 119–122.

[19] Z.-X. Li, Y. Yu, G. Yin, T. Wang, H.-M. Wang, What are they talking about? analyzing code reviews in pull-based development model, Journal of Computer Science and Technology 32 (2017) 1060–1075.

[20] J. Anvik, L. Hiew, G. C. Murphy, Who should fix this bug?, in: Proceedings of the 28th international conference on Software engineering, 2006, pp. 361–370.

[21] E. Giger, M. Pinzger, H. Gall, Predicting the fix time of bugs, in: Proceedings of the 2nd international workshop on recommendation systems for software engineering, 2010, pp. 52–56.

[22] P. Ma, D. Xu, X. Zhang, J. Xuan, Changes are similar: Measuring similarity of pull requests that change the same code in github, in: Software Engineering and Methodology for Emerging Domains, Springer, 2017, pp. 115–128.

[23] Z. Li, G. Yin, Y. Yu, T. Wang, H. Wang, Detecting duplicate pull-requests in github, in: Proceedings of the 9th Asia-Pacific Symposium on Internetware, 2017, pp. 1–6.

[24] Z.-X. Li, Y. Yu, T. Wang, G. Yin, X.-J. Mao, H.-M. Wang, Detecting duplicate contributions in pull-based model combining textual and change similarities, Journal of Computer Science and Technology 36 (1) (2021) 191–206.

[25] P. Diebold, J.-P. Ostberg, S. Wagner, U. Zendler, What do practitioners vary in using scrum?, in: International Conference on Agile Software Development, Springer, 2015, pp. 40–51.

[26] A. Zheng, A. Casari, Feature engineering for machine learning: principles and techniques for data scientists, " O'Reilly Media, Inc.", 2018.

[27] R. A. Groeneveld, G. Meeden, Measuring skewness and kurtosis, Journal of the Royal Statistical Society Series D: The Statistician 33 (4) (1984) 391–399.

[28] M. M. Ahsan, M. P. Mahmud, P. K. Saha, K. D. Gupta, Z. Siddique, Effect of data scaling methods on machine learning algorithms and model performance, Technologies 9 (3) (2021) 52.

[29] D. G. Kleinbaum, K. Dietz, M. Gail, M. Klein, M. Klein, Logistic regression, Springer, 2002.

[30] O. Kramer, O. Kramer, K-nearest neighbors, Dimensionality reduction with unsupervised nearest neighbors (2013) 13–23.

[31] S. Suthaharan, S. Suthaharan, Support vector machine, Machine learning models and algorithms for big data classification: thinking with examples for effective learning (2016) 207–235.

[32] M. L. Minsky, S. A. Papert, Perceptrons: expanded edition (1988).

[33] L. Breiman, Random forests, Machine learning 45 (2001) 5–32.

[34] L. Bottou, et al., Stochastic gradient learning in neural networks, Proceedings of Neuro-Nımes 91 (8) (1991) 12.

[35] F. Osisanwo, J. Akinsola, O. Awodele, J. Hinmikaiye, O. Olakanmi, J. Akinjobi, et al., Supervised machine learning algorithms: classification and comparison, International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT) 48 (3) (2017) 128–138.

[36] L. Buitinck, G. Louppe, M. Blondel, F. Pedregosa, A. Mueller, O. Grisel, V. Niculae, P. Prettenhofer, A. Gramfort, J. Grobler, et al., Api design for machine learning software: experiences from the scikit-learn project, arXiv preprint arXiv:1309.0238.

[37] P. Probst, A.-L. Boulesteix, B. Bischl, Tunability: Importance of hyperparameters of machine learning algorithms, Journal of Machine Learning Research 20 (53) (2019) 1–32.

[48] H. Alibrahim, S. A. Ludwig, Hyperparameter optimization: Comparing genetic algorithm against grid search and bayesian optimization, in: 2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), IEEE, 2021, pp. 1551–1559.

[39] M. Stone, Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions, Journal of the royal statistical society: Series B (Methodological) 36 (2) (1974) 111–133.

[40] A. Altmann, L. Toloşi, O. Sander, T. Lengauer, Permutation importance: a corrected feature importance measure, Bioinformatics 26 (10) (2010) 1340–1347.

[41] A. Adhikari, D. M. Tax, R. Satta, M. Faeth, Leafage: Example-based and feature importance-based explanations for black-box ml models, in: 2019 IEEE international conference on fuzzy systems (FUZZ-IEEE), IEEE, 2019, pp. 1–7.

[42] K. Kira, L. A. Rendell, A practical approach to feature selection, in: Machine learning proceedings 1992, Elsevier, 1992, pp. 249–256.

[43] S. Tangirala, Evaluating the impact of gini index and information gain on classification using decision tree classifier algorithm, International Journal of Advanced Computer Science and Applications 11 (2) (2020) 612–619.

[44] H. Han, X. Guo, H. Yu, Variable selection using mean decrease accuracy and mean decrease gini based on random forest, in: 2016 7th ieee international conference on software engineering and service science (icsess), IEEE, 2016, pp. 219–224.

[45] M. Du, N. Liu, X. Hu, Techniques for interpretable machine learning, Communications of the ACM 63 (1) (2019) 68–77.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[46] D. Collaris, J. J. van Wijk, Comparative evaluation of contribution-value plots for machine learning understanding, Journal of Visualization (2022) 1–11.

[47] M. T. Ribeiro, S. Singh, C. Guestrin, " why should i trust you?" explaining the predictions of any classifier, in: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining, 2016, pp. 1135–1144.

[48] S. M. Lundberg, S.-I. Lee, A unified approach to interpreting model predictions, Advances in neural information processing systems 30.

[49] M. T. Ribeiro, S. Singh, C. Guestrin, Anchors: High-precision model-agnostic explanations, in: Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence, Vol. 32, 2018.

[50] G. Vale, A. Schmid, A. R. Santos, E. S. De Almeida, S. Apel, On the relation between github communication activity and merge conflicts, Empirical Software Engineering 25 (2020) 402–433.

[51] D. Legay, A. Decan, T. Mens, On the impact of pull request decisions on future contributions, arXiv preprint arXiv:1812.06269.

[52] R. Feldt, A. Magazinius, Validity threats in empirical software engineering research-an initial survey, in: SEKE, 2010, pp. 374–379.

[53] J. Tsay, L. Dabbish, J. Herbsleb, Influence of social and technical factors for evaluating contribution in github, in: Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering, 2014, pp. 356–366.

[54] J. Tsay, L. Dabbish, J. Herbsleb, Let's talk about it: evaluating contributions through discussion in github, in: Proceedings of the 22nd ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering, 2014, pp. 144–154.

[55] Y. Zhang, G. Yin, Y. Yu, H. Wang, A exploratory study of @-mention in github's pull-requests, in: 2014 21st Asia-Pacific Software Engineering Conference, Vol. 1, IEEE, 2014, pp. 343–350.

[56] G. Gousios, M.-A. Storey, A. Bacchelli, Work practices and challenges in pull-based development: the contributor's perspective, in: 2016 IEEE/ACM 38th International Conference on Software Engineering (ICSE), IEEE, 2016, pp. 285–296.

[57] Y. Yu, G. Yin, T. Wang, C. Yang, H. Wang, Determinants of pull-based development in the context of continuous integration, Science China Information Sciences 59 (8) (2016) 1–14.

[58] W. Zou, J. Xuan, X. Xie, Z. Chen, B. Xu, How does code style inconsistency affect pull request integration? [a]n exploratory study on 117 github projects, Empirical Software Engineering 24 (2019) 3871–3903.

[59] O. Kononenko, T. Rose, O. Baysal, M. Godfrey, D. Theisen, B. De Water, Studying pull request merges: a case study of shopify's active merchant, in: Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice, 2018, pp. 124–133.

[60] M. M. Rahman, C. K. Roy, An insight into the pull requests of github, in: Proceedings of the 11th Working Conference on Mining Software Repositories, 2014, pp. 364–367.

[61] F. Zampetti, G. Bavota, G. Canfora, M. Di Penta, A study on the interplay between pull request review and continuous integration builds, in: 26th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER), IEEE, 2019, pp. 38–48.

[62] E. Van Der Veen, G. Gousios, A. Zaidman, Automatically prioritizing pull requests, in: 12th Working Conference on Mining Software Repositories, IEEE, 2015, pp. 357–361.

[63] G. Zhao, D. A. da Costa, Y. Zou, Improving the pull requests review process using learning-to-rank algorithms, Empirical Software Engineering 24 (4) (2019) 2140–2170.

[64] H. Ying, L. Chen, T. Liang, J. Wu, Earec: leveraging expertise and authority for pull-request reviewer recommendation in github, in: 2016 IEEE/ACM 3rd International Workshop on CrowdSourcing in Software Engineering (CSI-SE), IEEE, 2016, pp. 29–35.

[65] Y. Yu, H. Wang, G. Yin, T. Wang, Reviewer recommendation for pull-requests in github: What can we learn from code review and bug assignment?, Information and Software Technology 74 (2016) 204–218.

[66] J. Jiang, Y. Yang, J. He, X. Blanc, L. Zhang, Who should comment on this pull request? analyzing attributes for more accurate commenter recommendation in pull-based development, Information and Software Technology 84 (2017) 48–62.

[67] J. Jiang, D. Lo, J. Zheng, X. Xia, Y. Yang, L. Zhang, Who should make decision on this pull request? analyzing time-decaying relationships and file similarities for integrator prediction, Journal of Systems and Software 154 (2019) 196–210.

[68] L. Ren, S. Zhou, C. Kastner, A. Wasowski, Identifying redundancies in fork-based development, in: 26th International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER), IEEE, 2019, pp. 230–241.

[69] Q. Wang, B. Xu, X. Xia, T. Wang, S. Li, Duplicate pull request detection: When time matters, in: Proceedings of the 11th Asia-Pacific Symposium on Internetware, 2019, pp. 1–10.

[70] X. Zhang, Y. Chen, Y. Gu, W. Zou, X. Xie, X. Jia, J. Xuan, How do multiple pull requests change the same code: A study of competing pull requests in github, in: 2018 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME), IEEE, 2018, pp. 228–239.

[71] J. W. Menezes, B. Trindade, J. F. Pimentel, T. Moura, A. Plastino, L. Murta, C. Costa, What causes merge conflicts?, in: Proceedings of the XXXIV Brazilian Symposium on Software Engineering, 2020, pp. 203–212.

[72] W. Mahmood, M. Chagama, T. Berger, R. Hebig, Causes of merge conflicts: A case study of elasticsearch, in: Proceedings of the 14th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems, 2020, pp. 1–9.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[73] K. Dias, P. Borba, M. Barreto, Understanding predictive factors for merge conflicts, Information and Software Technology 121 (2020) 106256.

[74] N. Alnor Adam Khleel, K. Nehéz, Merging problems in modern version control systems, MULTIDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK: A MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYE 10 (3) (2020) 365–376.

[75] C. Costa, J. Menezes, B. Trindade, R. Santos, Factors that affect merge conflicts: A software developers' perspective, in: Proceedings of the XXXV Brazilian Symposium on Software Engineering, 2021, pp. 233–242.

[76] J. W. Menezes, B. Trindade, J. F. Pimentel, A. Plastino, L. Murta, C. Costa, Attributes that may raise the occurrence of merge conflicts, Journal of Software Engineering Research and Development 9 (2021) 14–1.

[77] B. B. Ribeiro, C. Costa, R. P. dos Santos, Understanding and analyzing factors that affect merge conflicts from the perspective of software developers, Journal of Software Engineering Research and Development 10 (2022) 12–1.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Modelo Semántico de Repositorio de Procesos de Negocio Colaborativos Orientado a la Ejecución

Juan Pablo Ferreyra *, Diego Cocconi *, Claudia Verino *, Marisa Pérez *

*Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información / Facultad Regional San Francisco / Universidad Tecnológica Nacional (UTN)*
*Av. de la Universidad 501, San Francisco (2400)*
*Córdoba, Argentina, (+54 3564) 431019 / 435402*
**{jpferreyra, dcocconi, cverino, mperez}@sanfrancisco.utn.edu.ar*

## Resumen

*La amplia adopción de Internet, la consolidación de tecnologías como la computación en la Nube y las nuevas demandas de mercados emergentes impulsan a las organizaciones a colaborar mediante redes y procesos de negocio colaborativos. Los procesos colaborativos pueden definirse de acuerdo con tres perspectivas: (1) modelo de coreografía; (2) modelos públicos; y (3) modelos privados. La implementación de la colaboración entre las organizaciones implica que las mismas puedan llevar a cabo las etapas del ciclo de vida BPM (Business Process Management) con sus procesos colaborativos, que involucra las etapas de: (1) análisis y diseño; (2) implementación; (3) ejecución; y (4) monitoreo y evaluación. Para dar soporte a la ejecución de los procesos colaborativos, es necesario que todos los modelos se encuentren a disposición, almacenados y estar disponibles desde varios repositorios de procesos de negocio. Los repositorios semánticos (Semantic Business Process Repositories, SBPR) integran motores de razonamiento que, mediante ontologías, derivan conocimiento implícito no disponible directamente en los modelos originales. Esto permite realizar consultas que pueden responder interrogantes de utilidad para las organizaciones. En este trabajo se presenta el modelo semántico de un repositorio de procesos de negocio basado en ontologías, fundamentado en los repositorios de una plataforma orientada a la ejecución de procesos colaborativos desarrollada en trabajos previos.*

**Palabras claves:** repositorio de procesos semántico, procesos colaborativos, modelo semántico, ontología.

## 1. Introducción

Con la amplia adopción actual de tecnologías como Internet y la computación en la Nube (*Cloud Computing*), nuevas demandas producto de mercados emergentes, la diversificación de oferta de productos y servicios, los cambios en los procesos de producción y distribución (por ejemplo, la tercerización de muchos de ellos), y condiciones relativas al contexto de los negocios, las organizaciones se pueden beneficiar estableciendo relaciones de integración, cooperación y colaboración entre ellas, conformando ***redes colaborativas*** [1] [2] [3]. Una red colaborativa está conformada por organizaciones heterogéneas, autónomas y geográficamente distribuidas que colaboran entre ellas para alcanzar objetivos comunes [4]. Dichas redes dan soporte a la colaboración cada vez más frecuente entre organizaciones para combinar fuerzas en la generación de productos y servicios en escenarios tan dinámicos y cambiantes como los actuales, con nuevas necesidades de flexibilidad y tiempos de respuesta, contribuyendo en forma importante al desempeño de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), gobiernos de pequeñas ciudades o comunidades, y entidades de la salud [5].

En las redes colaborativas, la integración a nivel de negocios entre las organizaciones se materializa a través de la definición y ejecución de ***procesos de negocio colaborativos*** (*Collaborative Business Processes*: CBPs) [6] [7] [8] [9] [10] [11]. Un proceso de negocio colaborativo, también llamado proceso inter-organizacional (*inter-organizational process* o *cross-organizational process*) [10], coreografía de proceso [12] [6] [13] o simplemente colaboración [14] es un proceso abstracto (no ejecutable directamente), que especifica la vista global de las interacciones (intercambio de mensajes) y coordina las acciones entre varias organizaciones participantes que desempeñan diferentes roles, en búsqueda de objetivos de negocio comunes [12] [8] [15]. Además, sirven también como una base contractual para las colaboraciones, ya que las organizaciones deben integrar sus diferentes procesos de negocio, acordar ciertos objetivos comunes, coordinar sus acciones e intercambiar información [11].

La implementación de la colaboración entre las organizaciones implica que las mismas puedan llevar a cabo las etapas del ***ciclo de vida BPM*** (*Business Process Management*) con sus procesos colaborativos [12] [16], que involucra las etapas de: (1) análisis y diseño; (2) implementación; (3) ejecución; y (4) monitoreo y evaluación. Para dar soporte a la ejecución de los procesos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



colaborativos, es necesario que los modelos y artefactos que serán derivados de los mismos se encuentren a disposición al momento de realizar una nueva colaboración. A tal fin, todos ellos deben ser almacenados y estar disponibles desde varios ***repositorios de procesos de negocio***. La gestión de repositorios de modelos de procesos de negocio en colaboraciones inter-organizacionales es una funcionalidad básica requerida en redes colaborativas de organizaciones [8]. La disponibilidad de una gran colección de procesos abre nuevas posibilidades, como: extraer el conocimiento sobre las operaciones de las organizaciones o reutilizar fragmentos de procesos (mejores prácticas) para diseñar nuevos procesos [17].

Los ***repositorios de procesos de negocio semánticos*** (*Semantic Business Process Repositories*: SBPR) integran un motor de razonamiento para el procesamiento de consultas, aprovechando el uso de ontologías para derivar conocimiento implícito que no se encuentra directamente disponible a partir del modelo original del repositorio de procesos de negocio (que podría estar representado mediante un modelo de base de datos relacional, por ejemplo) [18]. Esto permite realizar consultas que pueden responder interrogantes de utilidad para las organizaciones, particularmente sobre procesos colaborativos de los cuales participen. Dichas interrogantes pueden estar relacionadas a características estructurales de los modelos (o "estáticas"), por ejemplo: ¿cuál es el rol que desempeña principalmente determinada organización en los procesos colaborativos de los cuales forma parte?, ¿cuál es el nivel de interacción con las demás organizaciones participantes (interactúa mayormente con todas las organizaciones en los procesos colaborativos, sólo con algunas o con una sola)?, ¿qué organización toma las decisiones importantes en el contexto de los procesos colaborativos?, ¿cuál es la infraestructura predominante para llevar a cabo la ejecución de los procesos (local, en la Nube, etc.)?, etc. Las interrogantes también pueden estar asociadas a aspectos propios de la ejecución de los procesos colaborativos (o "dinámicos"), como: ¿cuál es la estacionalidad de cuellos de botella durante un período de tiempo en el que se han ejecutado los procesos?

Con la finalidad de responder a interrogantes de este tipo, en este trabajo se describe el modelo semántico de un repositorio de modelos de procesos de negocio basado en ontologías, que toma como base los repositorios de procesos de una plataforma orientada a la ejecución de procesos de negocio colaborativos descrita en trabajos anteriores [19] [20] [21].

El resto del documento se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se introducen conceptos de procesos de negocio colaborativos y repositorios de procesos de este tipo; la sección 3 introduce aspectos básicos de las ontologías y los repositorios de procesos de negocio semánticos; la ontología para el modelo semántico de repositorio de modelos de procesos de negocio propuesto se describe en la sección 4; trabajos relacionados se resumen en la sección 5; la sección 6 presenta las conclusiones; y finalmente, en la sección 7 se plantean trabajos futuros.

## 2. Procesos de negocio colaborativos y repositorios de procesos de negocio

Los procesos de negocio colaborativos pueden considerarse y definirse de acuerdo con tres perspectivas diferentes [6] [7]: (1) ***modelo de coreografía***; (2) ***modelos públicos***; y (3) ***modelos privados***. El modelo de coreografía proporciona una vista global y pública de las interacciones entre las organizaciones, con sus respectivos roles, en un flujo de control único que define el orden de dichas interacciones. Los modelos públicos, denominados también procesos de interfaz [8], incluyen las actividades públicas y el comportamiento externamente visible de un solo participante (con su propio flujo de control), en términos de dar soporte al intercambio de mensajes con los demás. Desde esta perspectiva, el comportamiento del proceso colaborativo queda especificado por la interacción entre dichos modelos públicos. Finalmente, los modelos privados, conocidos como procesos de orquestación [12] [8] [22] [13] [22], describen la lógica de negocio interna y privada de cada organización, así como las interacciones con las demás, para poder cumplir el rol que la misma desempeña en el proceso colaborativo. Estos modelos privados son mantenidos por cada organización, conteniendo información confidencial que debe ser expuesta sólo a los interesados apropiados, y constituyen los verdaderos procesos ejecutables (a través de especificaciones ejecutables).

Un proceso de negocio que es automatizado en forma total o parcial por un sistema software se denomina *workflow*, y a dicho sistema software se le conoce como ***sistema de información orientado a procesos*** (*Process-Aware Information System*: PAIS). En ese contexto, mientras que el modelo del proceso define todas las posibles formas en que puede ser ejecutado, una ejecución particular específica del mismo por este tipo de sistemas se denomina ***instancia de proceso*** o ***caso*** [16]. Para ello, dichos sistemas cuentan con un ***motor de procesos*** (*process engine*) que se encarga de la ejecución, invocando a los servicios que realizarán las acciones requeridas por las actividades del proceso y manteniendo el estado actual de las instancias y todos sus datos asociados [23] [24]. Por lo tanto, la integración de las organizaciones en una red colaborativa a nivel tecnológico dependerá de la capacidad de los sistemas de cada una de ellas para interactuar en forma conjunta y dar soporte a los procesos colaborativos de los que formen parte [10].

La implementación de la colaboración entre las organizaciones implica que las mismas puedan llevar a cabo las etapas del ***ciclo de vida BPM*** (*Business Process Management*) con sus procesos colaborativos [12] [16]. Para ello, durante las etapas de ***análisis*** y ***diseño***, las organizaciones deben definir los procesos colaborativos, desde el punto de vista de las tres perspectivas mencionadas anteriormente. En estas etapas se utilizan lenguajes que permiten modelar procesos colaborativos de una manera independiente de la tecnología de implementación, como el estándar BPMN (*Business Process Model and Notation*), mediante diagramas de coreografía y diagramas de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



colaboración [13]. En la Figura 1.a se muestra un ejemplo de un modelo de coreografía con tres organizaciones participantes (vendedor, cliente y proveedor), según un diagrama de coreografía de BPMN 2.0 (adaptada de [25]). Por otro lado, en la parte central de la Figura 1.b se puede apreciar el modelo privado completo de uno de los participantes (vendedor) y las interacciones con los otros dos (cliente y proveedor), expresados mediante un diagrama de colaboración de BPMN 2.0.

La próxima etapa del ciclo de vida es la ***implementación***, que consiste en el desarrollo, la configuración y el despliegue de los sistemas de

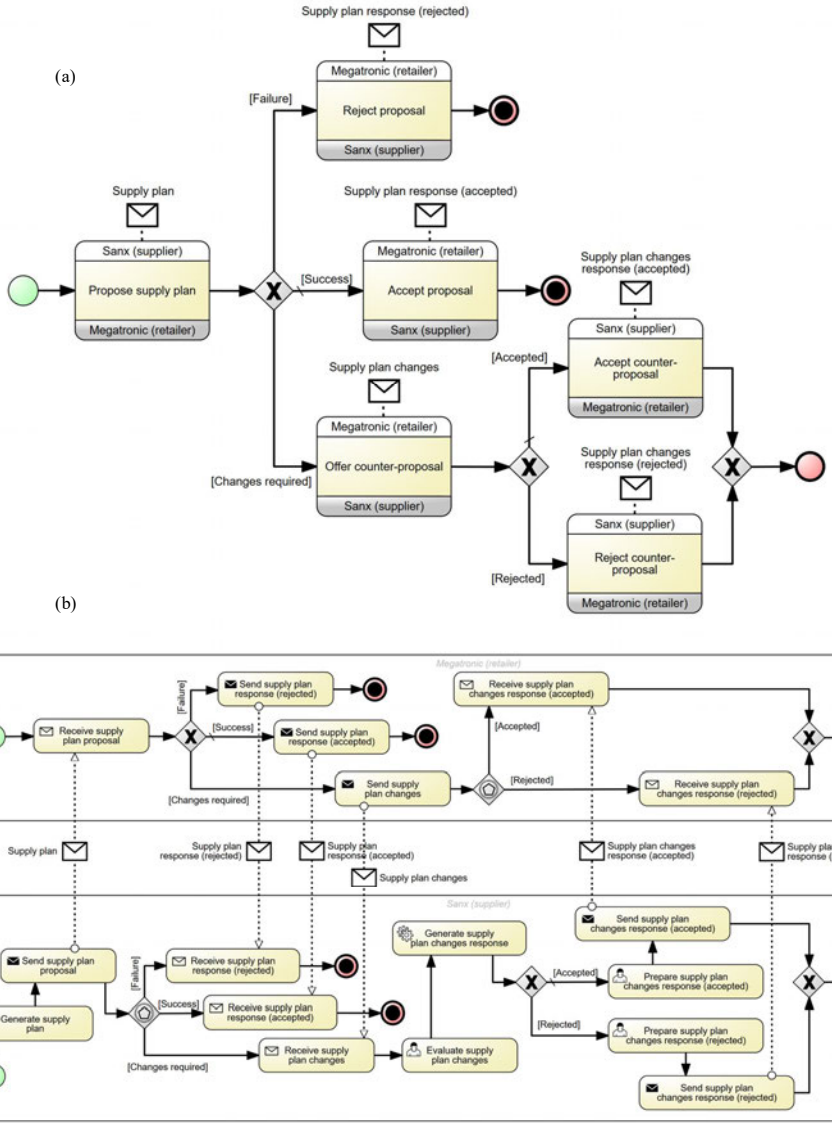



**Figura 1**: Proceso colaborativo de ejemplo con dos organizaciones participantes, modelado según BPMN 2.0, adaptado de [25]. (a) Modelo de coreografía (diagrama de coreografía). (b) Arriba: modelo público de una de las organizaciones participantes, y abajo: modelo privado de la otra organización (ambos en un solo diagrama de colaboración).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



información orientados a procesos requeridos por las organizaciones para ejecutar sus modelos de procesos privados, así como la generación y configuración de las especificaciones ejecutables de los mismos. Esto implica que cada organización debe implementar tal sistema para permitir la interacción con los de las demás organizaciones, en orden de llevar adelante la ejecución de los procesos colaborativos. Durante esta etapa se requieren lenguajes que permitan especificar los procesos privados de acuerdo con el motor de procesos que utilice el sistema de cada organización (por ejemplo, WS-BPEL especifica los procesos ejecutables en términos de la tecnología de servicios Web), así como configurar todos los detalles de ejecución (como las invocaciones a servicios de las actividades, las conexiones con bases de datos, etc.).

Sigue a continuación la etapa de ***ejecución***, la cual constituye el despliegue y la instanciación del proceso colaborativo a través del despliegue y la instanciación a nivel local de los procesos ejecutables de cada organización en los motores de procesos de sus sistemas de información orientados a procesos respectivos. Los motores de procesos se encargarán de ejecutar las actividades privadas que cada organización requiere, así como las actividades públicas involucradas en el intercambio de mensajes. Tal ejecución distribuida de los procesos colaborativos requiere considerar los siguientes aspectos [26]: (1) autonomía de las organizaciones (que las mismas sean capaces de poder tomar decisiones independientemente de las demás organizaciones participantes en todas aquellas actividades de sus procesos privados, que puedan tener bajo su control dicha estructura, información confidencial o datos sensibles, que sean capaces de gestionar los procesos privados con muy bajo acoplamiento respecto de las demás, y que cuenten con un elevado nivel de control sobre el ámbito de ejecución de los mismos) [27] [28] [29] [30] [31]; (2) ejecución descentralizada (que el control se comparta entre todas las organizaciones a través de la ejecución distribuida de sus procesos privados por parte de sus motores de procesos, y que ninguna de ellas lo ejerza en forma completa, pues no existe una parte central u orquestadora que gobierne la colaboración) [32] [33] [28]; (3) interacciones entre pares (*peer-to-peer*) (que las organizaciones intercambien los mensajes que conforman las interacciones definidas en el proceso colaborativo directamente entre ellas, en forma independiente, sin que exista una jerarquía que las organice) [33] [34]; y (4) abstracciones adecuadas para representar comunicaciones (que se tenga en cuenta la ejecución descentralizada entre pares de los procesos privados para el intercambio de mensajes, tanto a nivel conceptual como a nivel tecnológico) [32] [35]. Además, como las instancias de los procesos privados en ejecución en realidad no existen de manera aislada, sino que pertenecen a determinado proceso colaborativo en ejecución (el cual no es directamente instanciable, como se mencionó previamente), es necesario conocer cuáles de ellas forman parte de una ejecución concreta de proceso colaborativo, por lo que dichas instancias deben integrarse debidamente [36]. Asimismo, en una ejecución distribuida de varios procesos (que implica muchos componentes autónomos interactuando) resulta necesario contemplar que pueden ocurrir fallas típicas de sistemas distribuidos y arquitecturas orientadas a servicios [37] [38]. Por lo tanto, todo lo mencionado en este párrafo constituyen requerimientos importantes que la ejecución de procesos de negocio colaborativos debe tener en cuenta.

Finalmente, durante y luego de la ejecución de los procesos colaborativos, se realiza el ***monitoreo*** y ***evaluación*** de los mismos. En un contexto intra-organizacional, el monitoreo de procesos de negocio se realiza teniendo en cuenta varios propósitos [39]: (1) monitoreo de la ejecución; (2) control de la ejecución; y (3) post-procesado de datos. El monitoreo de la ejecución permite rastrear el estado actual de las instancias de procesos en ejecución, el control de la ejecución posibilita mitigar situaciones críticas durante la ejecución de dichas instancias (cuellos de botella, *deadlocks*, desviaciones, etc.) y el post-procesado de datos realiza el análisis de datos recolectados durante la ejecución. El post-procesado de datos es la base para técnicas de evaluación como la minería de procesos (*process mining*), y es naturalmente realizado luego de la ejecución o en modo fuera de línea (*offline*), mientras que el monitoreo y el control de la ejecución se realizan en línea (*on-line*), durante la ejecución. Todo esto también es aplicable a los procesos colaborativos, donde participan diversos actores. Sin embargo, para el monitoreo de la ejecución, la ejecución distribuida de los procesos colaborativos conlleva un desafío adicional, que consiste en conocer el estado global en que se encuentra una instancia de proceso colaborativo de la cual participan varios procesos de privados independientes. Según un enfoque descentralizado, cuando fuera necesario conocer el estado del proceso colaborativo completo, deberían propagarse notificaciones con los estados locales entre las instancias de procesos privados y así componer el estado de ejecución del proceso colaborativo. Sin embargo, la propagación de notificaciones entre todos los participantes puede derivar en una sobrecarga de ancho de banda considerable [40] [41] [42]. Entonces, otro aspecto de la ejecución de los procesos colaborativos incluye proporcionar una vista global de los mensajes intercambiados, difundiendo los intercambios de mensajes entre todos los participantes, a partir de lo cual cada participante puede determinar el estado del proceso colaborativo completo sin la necesidad de difundir y componer notificaciones de estados parciales con frecuencia [26].

Para dar soporte a la ejecución de los procesos colaborativos, es necesario que todos los modelos involucrados que han sido descritos, así como las respectivas especificaciones ejecutables, se encuentren a disposición del sistema de información orientado a procesos al momento de crear nuevas instancias. A tal fin, todos ellos son almacenados en ***repositorios de procesos de negocio***. Un repositorio es una base de datos compartida que contiene información sobre artefactos de ingeniería producidos o utilizados por una organización [43] [17]. En el caso específico de procesos de negocio, los artefactos constituyen modelos de procesos de negocio (y sus especificaciones ejecutables, si corresponde). Por lo tanto, un repositorio de modelos de procesos de negocio es un

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



repositorio especializado, específico para almacenar y administrar modelos de procesos de negocio, es decir, proporciona funcionalidades estándar de un sistema de administración de bases de datos para almacenar nuevos modelos de procesos, así como actualizar, recuperar o eliminar modelos existentes, además de permitir las transacciones y consultas sobre dichos modelos [17]. La gestión de repositorios de modelos de procesos en colaboraciones inter-organizacionales es una funcionalidad deseable en redes colaborativas de organizaciones [8].

En los repositorios de procesos de negocio surgen problemas típicos, como: encontrar un proceso particular en una colección; administrar diferentes versiones de los procesos; mantener la coherencia cuando varias personas editan el mismo proceso al mismo tiempo [17]; y lidiar con la heterogeneidad debido a la diversidad de sistemas PAIS en una red colaborativa (incluso en una misma organización), ya que varios de ellos pueden coexistir y trabajar juntos (esto último en el caso de gestionar especificaciones ejecutables) [44]. Por otro lado, la disponibilidad de una gran colección de procesos abre nuevas posibilidades: extraer el conocimiento sobre las operaciones de la organización de la colección o reutilizar fragmentos de procesos (mejores prácticas) de la colección para diseñar nuevos procesos [17].

## 3. Ontologías y repositorios de procesos de negocio semánticos

Existen varias definiciones del término ***ontología***: según [45], una ontología define los términos y relaciones básicos que comprenden el vocabulario de un área temática, así como las reglas para combinar términos y relaciones para definir extensiones del vocabulario; en [46] se define una ontología como una especificación explícita de una conceptualización; y [47] agregan a esa definición que dicha especificación debe ser formal y explícita, y la conceptualización debe ser compartida. Con "especificación" se hace referencia a una representación declarativa, que sea "formal" se significa que debe poder ser procesada por una computadora [48] y "explícita" implica que todos los elementos se deben definir claramente [49]. Por otro lado, "Conceptualización" es una visión abstracta y simplificada del mundo (cada conceptualización se basa en los conceptos, objetos y otras entidades que se supone existen en un área de interés, así como las relaciones entre ellas [48]). Finalmente, "compartida" refleja la idea de que una ontología representa conocimiento consensuado y acordado por un grupo de personas [50].

El propósito del uso de ontologías es reunir todos los conceptos de un área en particular, teniendo en cuenta además, todas sus propiedades y relaciones. Las ontologías se especifican normalmente mediante un lenguaje de ontologías Web, como *Web Ontology Language* (OWL), desarrollado y mantenido por el *World Wide Web Consortium* (W3C). Un modelo de ontología se basa en grafos, y describe los objetos de datos (también llamados recursos) con más detalle, debido a las relaciones entre ellos [51]. Debido a esta estructura, una ontología también se puede ver como un *framework* de descripción de recursos. Un *framework* de este tipo ampliamente conocido es el *Resource Description Framework* (RDF), un modelo estandarizado con una estructura vinculada que permite habilitar el intercambio de datos en la Web mediante enlaces a los recursos [51]. Entonces, la ontología puede extender el concepto de RDF a través de una descripción más detallada de los enlaces y es posible obtener información a partir de la ontología utilizando consultas estandarizadas mediante el lenguaje de protocolo y consulta RDF (SPARQL: *SPARQL Protocol and RDF Query Language*) [51].

Los ***repositorios de procesos de negocio semánticos*** (*Semantic Business Process Repositories*: SBPR) se diferencian de los tradicionales al integrar un motor de razonamiento para el procesamiento de consultas, aprovechando el uso de ontologías para derivar conocimiento implícito. Esto supera la incapacidad de los repositorios tradicionales para derivar este tipo de conocimiento, el cual no está expresado explícitamente mediante el modelo de datos original del repositorio [18].

## 4. Modelo semántico de repositorio de procesos de negocio colaborativos orientado a la ejecución

Para dar soporte a la ejecución de los procesos de negocio colaborativos, todos los modelos involucrados (así como las respectivas especificaciones ejecutables) son almacenados en los repositorios de procesos de negocio apropiados. Estos repositorios, no sólo deben tener en cuenta aspectos relativos a la gestión de los modelos (y especificaciones), sino que también deben adecuarse para considerar cuestiones relativas a su ejecución distribuida (autonomía de las organizaciones; ejecución descentralizada; interacciones entre pares; y abstracciones adecuadas para representar comunicaciones) y monitoreo (vista global de los mensajes intercambiados), mencionados previamente en la sección 2. Durante la ejecución de un proyecto de investigación y desarrollo por parte de los integrantes del presente trabajo[1] fue especificada e implementada una plataforma para la ejecución de procesos de negocio colaborativos en la Nube basada en microservicios, con la finalidad de flexibilizar la ejecución de este tipo de procesos [19] [20] [21]. Dicha plataforma integra repositorios de procesos de negocio que consideran todos los aspectos referidos anteriormente, basados en el repositorio original de [8], utilizado también como referencia en [52] [53]. Por lo tanto, los repositorios de esta plataforma se utilizan como base para definir un modelo

[1] Proyecto UTN sin incorporación al Programa de Incentivos: EITUNFE0004278 (Plataforma basada en la Nube y Sistemas de Información Orientados a Procesos para la Gestión de Cadenas de Valor Colaborativas)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



semántico que permita mejorarlos, incorporando una ontología para inferir conocimiento que no esté representado explícitamente en las entidades originales.

Existen diferentes metodologías y métodos para crear ontologías, según se describen en [49]. En el presente trabajo se empleó el método 101, propuesto en [54] y que básicamente consiste en: (1) determinar el dominio y el alcance; (2) considerar rehúso de ontologías existentes; (3) enumerar términos importantes; (4) definir clases y jerarquías; (5) definir propiedades y clases; (6) definir aspectos de propiedades; y (7) crear instancias. Si bien se podría haber empleado algún otro método o metodología de las propuestas en [49] para desarrollar la ontología, se decidió emplear el método 101 debido a su simpleza.

### 4.1. Contexto del dominio

El estudio del dominio se ha realizado tomando como punto de partida el repositorio distribuido de modelos de procesos colaborativos mencionado anteriormente, que consiste de un repositorio global público y varios repositorios locales. El repositorio global permite gestionar los modelos de coreografía de los procesos colaborativos y sus respectivas instancias, y sus entidades se muestran en la Figura 2.a. En primera instancia, almacena información sobre las redes colaborativas que conforman las organizaciones (entidad *CollaborativeNetwork*), incluyendo un identificador (*id*), nombre (*name*), las organizaciones participantes (*orgIdsList*) y los procesos colaborativos que han acordado (*cbpModelIdsList*). Por su parte, las organizaciones (entidad *Organization*) detallan su identificador (*id*), nombre (*name*), información sobre el acceso a sus sistemas de información orientados a procesos con las que las demás deberán comunicarse para realizar el intercambio de mensajes descrito en el proceso colaborativo (entidades *IbpEndpoint*, *IbpExecutionEndpoint* e *IbpExecutionDeploymentEndpoint*), así como parámetros de comportamiento por tener en cuenta durante la ejecución de sus procesos privados (por ejemplo, *subscrToChoreoEvents*). Los modelos de procesos de negocio colaborativos, es decir, los modelos de coreografía (entidad *CbpModel*), cuentan con un identificador (*id*), nombre (*name*), versión (*version*), la organización iniciadora de sus posibles instancias (*starterOrgId*), parámetros relativos a su estado actual en el contexto del repositorio (*status*, *orgsSubscrToChoreoEventsList*, *orgsPendNotifList*, *ibpSpecsAvailableList*) y el archivo del de la coreografía (*file*), especificado según el estándar BPMN 2.0 para coreografías, entre otros. Cada organización desempeña un rol en el contexto del proceso colaborativo (entidad *OrganizationRole*), el cual incluye un identificador (*id*) y un nombre (*name*). Los modelos de procesos colaborativos detallan la asociación entre las organizaciones que participan y sus respectivos roles (*orgIdsMap*).

Para lograr la vista global de los mensajes intercambiados entre las organizaciones durante la ejecución de los procesos colaborativos, cada modelo de proceso colaborativo incluye una lista (*messageDefIdsList*) de las especificaciones de dichos mensajes (entidad *MessageDefinition*). Dichas especificaciones no incluyen los datos intercambiados (como documentos de negocio), sino los metadatos del mensaje: identificador (*id*), nombre (*name*), proceso colaborativo (*cbpModelId*), organización que lo envía (*senderOrgId*), su rol en el proceso colaborativo (*senderOrgRoleId*), organización que lo recibe (*receiverOrgId*) y su respectivo rol (*receiverOrgRoleId*).

Cuando sea iniciada una nueva instancia de un proceso colaborativo (conformada por las instancias de los respectivos procesos privados de cada organización), sus metadatos también son almacenados en el repositorio global (entidad *CbpInstance*), incluyendo una descripción (*descr*), la estampa de tiempo del inicio de su ejecución (*startTimestamp*), un identificador secuencial respecto del proceso colaborativo al que pertenece (*id*), dicho proceso colaborativo (*cbpModelId*) y parámetros relativos a su estado global de ejecución (*status*, *orgsPendNotifList*, *ibpInstsStartedList* e *ibpInstsFinishedList*).

Como las instancias de los procesos privados de cada organización que participan de un proceso colaborativo deben ajustarse al comportamiento descrito por el modelo de coreografía de este último, deben tomar decisiones en forma conjunta sobre la base de datos que se intercambien entre las organizaciones durante la ejecución, dando soporte a los distintos patrones de modelado que involucre el proceso colaborativo [12]. Estos datos se pueden representar mediante variables de proceso adecuadas que conozcan todos los participantes a través de los intercambios de mensajes, y que puedan ser interpretadas por los motores de procesos de sus sistemas de información orientados a procesos para coordinar el flujo de ejecución de los procesos privados. Es por ello que el modelo de proceso colaborativo incluye un detalle de las variables que serán utilizadas a tal fin (*processVarsMap*). Aquellos mensajes que transfieran información para tomar decisiones basadas en datos, incluyen en su especificación (entidad *MessageDefinition*) la lista de variables a las que establecerán un valor que luego será evaluado (*processVarsList*).

Por otro lado, los repositorios locales ofrecen soporte para la gestión de modelos de procesos públicos (o de interfaz) y privados de las organizaciones, así como aspectos de las instancias producto de la ejecución de estos últimos (Figura 2.b). Según el despliegue de la plataforma, existe por lo menos uno de estos repositorios locales, el cual es compartido entre varias organizaciones que no deseen implementarlo en su propia infraestructura. Por el contrario, si determinada organización cuenta con una infraestructura propia y quiere conservar la información de sus procesos bajo su control, puede crear su propio repositorio local.

Los modelos públicos (entidad *IbpModelTemplate*) son generados a partir del modelo de proceso colaborativo mediante las técnicas que adopten las organizaciones (transformaciones de modelos, proyecciones, etc.), e incluyen un nombre (*name*), versión (*version*), el modelo de proceso colaborativo al cual pertenecen (*cbpModelId*), la organización propietaria (*orgId*) y su respectivo rol (*orgRoleId*), una lista con las especificaciones de los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



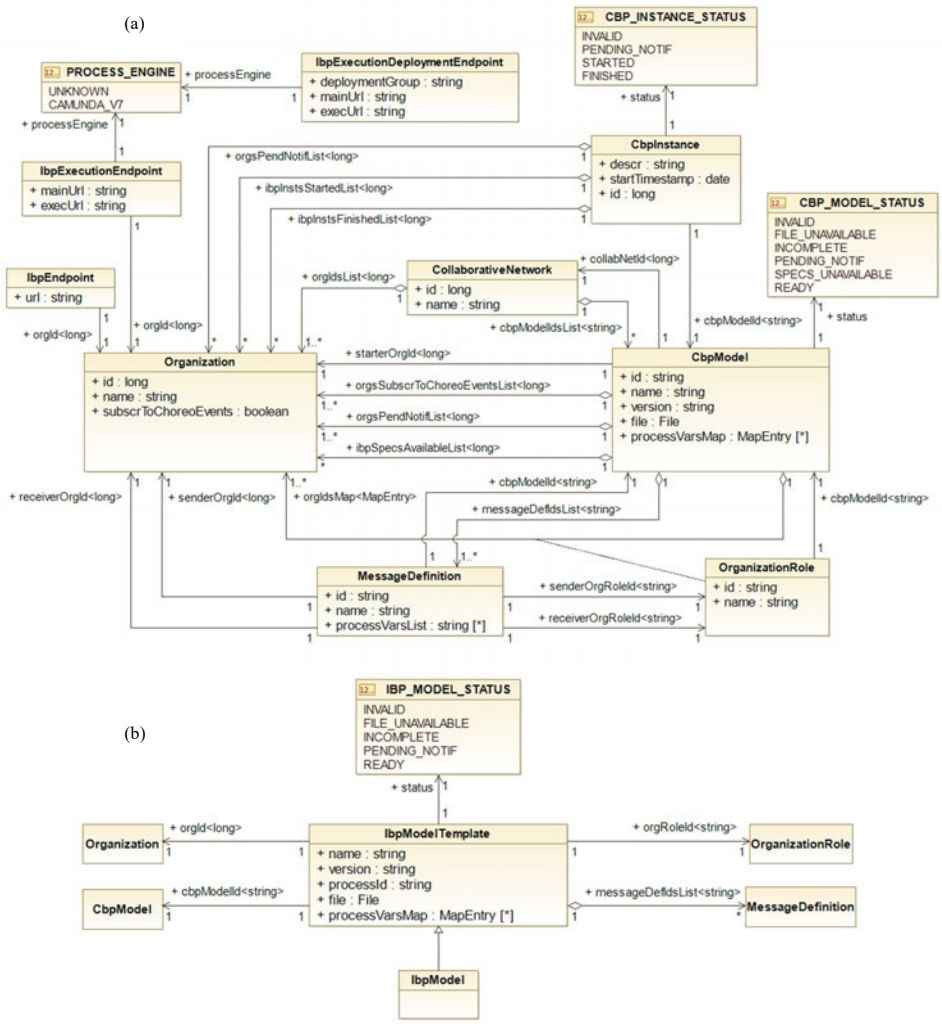



**Figura 2**: Entidades del repositorio distribuido de la plataforma para la ejecución de procesos de negocio colaborativos en la Nube basada en microservicios descrita en [19] [20] [21], utilizado como base para la ontología. (a) Entidades del repositorio global público para gestionar los modelos de coreografía y sus instancias. (b) Entidades de los repositorios locales para la gestión de modelos de procesos públicos (o de interfaz) y privados de las organizaciones, así como aspectos de las instancias de estos últimos.

mensajes con los que la organización interactúa con las demás (*messageDefIdsList*), parámetros relativos a su estado actual en el contexto del repositorio (*status*), el archivo del modelo del proceso de negocio (*file*), según estándar BPMN 2.0 para colaboraciones, y el identificador del proceso de negocio que ejecutará el motor de procesos (*processId*). También incluye las variables de proceso detalladas en el proceso colaborativo (*processVarsMap*), que deberán ser interpretadas por dicho motor de procesos.

Los modelos privados (entidad *IbpModel*) heredan de los modelos públicos (entidad *IbpModelTemplate*), ya que básicamente incluyen la misma información que estos últimos, sólo que el archivo del modelo del proceso de negocio (*file*), también según el estándar BPMN 2.0 para colaboraciones, agrega esta vez aquellas actividades privadas que las organizaciones requieren para participar de la colaboración.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



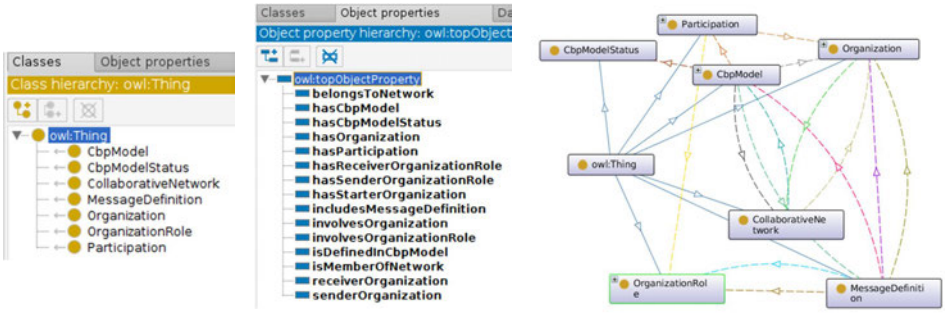
Además, una parte de los repositorios privados, que no se muestra en la Figura 2, se encarga de gestionar las especificaciones ejecutables creadas a partir de los procesos privados de las organizaciones, teniendo en cuenta el motor de procesos que las ejecutará y las conexiones con los sistemas requeridos para llevar adelante las actividades. Los modelos de procesos colaborativos, los modelos públicos y los modelos privados son agnósticos y no tienen ningún detalle de implementación particular, a diferencia de tales especificaciones ejecutables, que utilizan lenguajes como WS-BPEL (para especificar los procesos ejecutables en términos de la tecnología de servicios Web). De momento, esa información específica no se incluye en la ontología debido a su escasa utilidad en dar respuesta a las cuestiones planteadas en la sección 1.

### 4.2. Ontología propuesta

Luego del análisis de las entidades y sus atributos detallados en la subsección anterior, se consideran los términos importantes del dominio y se genera un mapeo de los mismos a los elementos de la ontología propuesta.

La ontología ha sido desarrollada utilizando el lenguaje OWL, por medio del software para modelado de ontologías *Protégé*. El archivo de la ontología comienza con la declaración del espacio de nombres (similar a una definición de esquema XML), y los elementos esenciales: clases, propiedades e individuos [51]. Los individuos son cosas del mundo real y miembros de las clases (es decir, instancias de las mismas). La clase raíz es *owl:Thing* y todas las demás están asociadas a dicha clase. Cada clase se declara mediante el prefijo "*owl:*" y un nombre único, y puede tener más de una clase como subclase, que se define a través de "*rdfs:subClassOf*". Hay dos categorías principales de propiedades: de objeto y de datos. Las propiedades de objeto se emplean para vincular a un individuo con otro (por lo que permiten representar relaciones entre los mismos) y las propiedades de datos se utilizan para describir valores de datos de un individuo específico, con su correspondiente tipo de datos. Además, las propiedades pueden tener restricciones, como cardinalidad ("*owl:cardinality*"), que especifica cuántas relaciones tiene una clase específica con otra clase. A través de axiomas, se pueden hacer declaraciones sobre las entidades, por ejemplo, la jerarquía de herencia de una clase o la definición de un concepto del dominio que se está representando.

Entonces, producto del análisis de las entidades del repositorio global y de los repositorios locales, se mapean las mismas a clases de la ontología. Los atributos también se mapean a propiedades de objeto, si representan relaciones entre entidades, y a propiedades de datos, cuando corresponden a un valor elemental. En la Figura 3 se muestra una sección de la ontología resultante (a los fines de simplificar), que será utilizada para responder a una de las interrogantes de la sección 1. La Figura 3.a resume las clases, directamente mapeadas desde la Figura 2.a. Sólo se agrega la clase "*Participation*" para representar la relación entre una organización y su rol en el contexto del proceso colaborativo. El mapeo de los atributos y las relaciones entre las entidades de la Figura 2.a se resume en la Tabla 1 y corresponde a las propiedades de la Figura 3.b. En la Figura 3.c se resumen clases y propiedades mediante una representación gráfica.




(a) (b) (c)

**Figura 3**: Parte de la ontología resultante, que será utilizada para responder a una de las interrogantes de la sección 1. (a) Clases. (b) Propiedades. (c) Representación gráfica de clases y propiedades.

### 4.3. Evaluación de la ontología

La evaluación de la ontología comprende la verificación, validación y valoración de la ontología por parte de los usuarios. La verificación ha permitido determinar que la ontología está correctamente construida, que se implementaron correctamente los conceptos importantes del dominio y que la misma realmente modela dicho mundo o dominio.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tabla 1. Mapeo de los atributos y las relaciones entre las entidades de la Figura 2.a a propiedades en la ontología**

| ***Entidad del repositorio (en gris) que mapea a clase de la ontología*** | | ***Atributo de entidad del repositorio (en gris) que mapea a propiedad de la ontología*** | | ***Dominio de la propiedad*** | ***Rango de la propiedad*** |
|---|---|---|---|---|---|
| *Collaborative-Network* | *Collaborative-Network* | *orgIdsList* | *hasOrganization* | *Collaborative-Network* | *Organization* |
| | | *cbpModelIdsList* | *hasCbpModel* | *Collaborative-Network* | *CbpModel* |
| *Organization* | *Organization* | (*) *orgIdsList* | *isMemberOfNetwork* | *Organization* | *Collaborative-Network* |
| *CbpModelStatus* | *CbpModelStatus* | - | - | - | - |
| *CbpModel* | *CbpModel* | *collabNetId* | *belongsToNetwork* | *CbpModel* | *Collaborative-Network* |
| | | *status* | *hasCbpModelStatus* | *CbpModel* | *CbpModelStatus* |
| | | *starterOrgId* | *hasStarterOrganization* | *CbpModel* | *Organization* |
| | | *messageDefIdsList* | *includesMessageDefinition* | *CbpModel* | *MessageDefinition* |
| | | - | *hasParticipation* | *CbpModel* | *Participation* |
| | *Participation* | *orgIdsMap* | *involvesOrganization* | *Participation* | *Organization* |
| | | | *involvesOrganizationRole* | *Participation* | *OrganizationRole* |
| *Message-Definition* | *Message-Definition* | *cbpModelId* | *isDefinedInCbpModel* | *MessageDefinition* | *CbpModel* |
| | | *senderOrgRoleId* | *hasSenderOrganizationRole* | *MessageDefinition* | *OrganizationRole* |
| | | *senderOrgId* | *senderOrganization* | *MessageDefinition* | *Organization* |
| | | *receiverOrgRoleId* | *hasReceiverOrganizationRole* | *MessageDefinition* | *OrganizationRole* |
| | | *receiverOrgId* | *receiverOrganization* | *MessageDefinition* | *Organization* |
| *OrganizationRole* | *OrganizationRole* | *cbpModelId* | *belongsToCbpModel* | *OrganizationRole* | *CbpModel* |
| (*) Relación inversa del atributo. | | | | | |

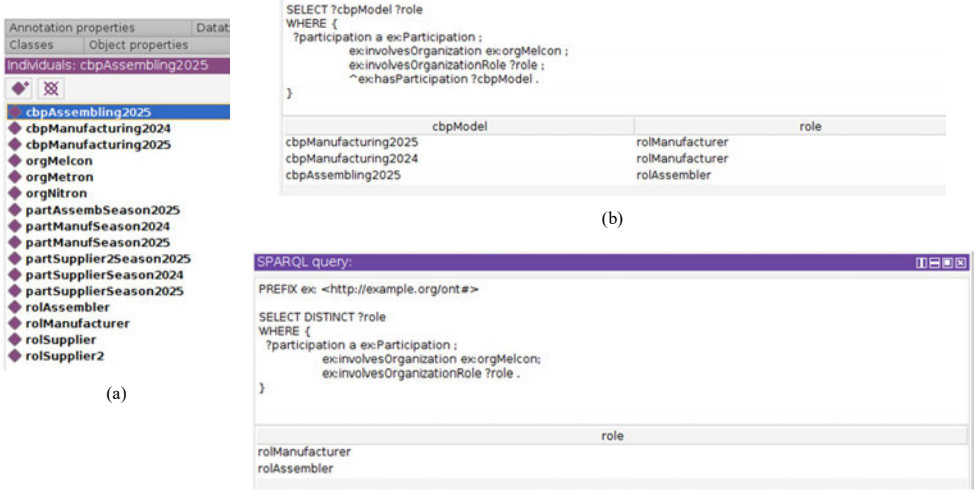



**Figura 4**: Evaluación de parte de la ontología para dar respuesta a una pregunta concreta. (a) Instancias de las clases creadas para representar la definición de algunos procesos colaborativos por parte de distintas organizaciones. (b) Consulta en SPARQL para obtener los modelos de procesos colaborativos en los que participa una organización concreta y su respectivo rol. (c) Consulta en SPARQL para obtener solamente los roles que desempeña una organización concreta en los procesos colaborativos de los que participa.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para la validación y valoración de la ontología por parte de los usuarios, se crearon instancias de las clases para representar la definición de algunos procesos colaborativos por parte de distintas organizaciones, teniendo en cuenta que las instancias en un archivo OWL se almacenan como individuos y deben tener un nombre único (Figura 4.a). A partir de la generación de instancias también es posible determinar la consistencia del modelo, mediante el uso del razonador (*Pellet*) de la herramienta *Protégé*. La herramienta permite validar si existen inconsistencias como, por ejemplo, si una instancia no está asociada a ninguna clase o al existir relaciones establecidas entre las clases del modelo y no estar creadas las instancias correspondientes, el razonador lo detectará. Otra característica de la validación de la consistencia consiste en comprobar si el modelo contiene hechos contradictorios, por ejemplo, que una misma organización realice dos roles diferentes en un mismo proceso colaborativo.

Luego, se consideraron las preguntas planteadas inicialmente y se verificó la capacidad de la ontología de poder darles respuesta. Por ejemplo, considerando la pregunta: ¿cuál es el rol que desempeña principalmente determinada organización en los procesos colaborativos de los cuales forma parte?, se realizaron las consultas detalladas en la Figura 4.b y 4.c, especificadas mediante el lenguaje estándar de consultas SPARQL integrado a *Protégé*.

En la primera de las consultas (Figura 4.b) se indica que se especifique en cuáles modelos de procesos colaborativos (clase *CbpModel*) y bajo qué rol (clase *OrganizationRole*) interviene una organización concreta (individuo *orgMelcon*). Se utiliza la clase *Participation* como intermediaria entre la relación que une a la organización (clase *Organization*) con su rol dentro del proceso colaborativo. La otra consulta (Figura 4.c) se indica que se muestren sólo los roles de la misma organización, sin importar el proceso colaborativo al cual corresponden.

## 5. Trabajos relacionados

Existen numerosas propuestas para la gestión de repositorios de procesos de negocio. Al respecto, el *framework* propuesto en [17] consiste en una lista de funcionalidades que se deben proporcionar (un modelo de datos de proceso, un modelo de funciones de proceso y un modelo de gestión de procesos) y una arquitectura de referencia, la cual es una abstracción de las arquitecturas analizadas al momento de realizado el trabajo. En [55] se propone un *framework* para diseñar métodos de consulta de procesos, es decir, técnicas para la gestión de repositorios de procesos diseñados y ejecutados, así como modelos que describen relaciones entre procesos; dicho *framework* está compuesto por componentes genéricos que se pueden configurar para crear una variedad de métodos de consulta de procesos. Por su parte, [56] describe un método para administrar las variaciones de los modelos de procesos de negocio, y la propuesta se centra en optimizar el repositorio en términos de cómo se almacenan los procesos de negocio. En [57] se propone un repositorio de modelos de procesos abierto e independiente del lenguaje que ofrece soporte para la reutilización de los modelos. Sin embargo, todas estas propuestas anteriores no ofrecen soporte para la gestión de procesos de negocio colaborativos.

Respecto de procesos de negocio de varios participantes que interactúan, algunas propuestas abordan el problema de la interoperabilidad, centrándose en la gestión de repositorios de instancias de procesos de negocio independientes del motor de procesos utilizado [44] [58]. En [44] se propone un Modelo de Instancia de Procesos de Negocio (BPIM) que proporciona una visión holística de una instancia de proceso de negocio al considerar rutas de ejecución de procesos, procedencia de datos y metadatos relevantes. Se aborda el problema de heterogeneidad referido a la diversidad de sistemas de información orientados a procesos y sus motores de procesos, y para ello, desacopla la definición de instancia de proceso de dicho sistema y permite que diferentes sistemas y aplicaciones compartan el mismo repositorio de instancias de procesos y reutilicen la información de las mismas. Sin embargo, el problema de interoperabilidad no se considera aquí porque el repositorio utilizado para la ontología manipula modelos agnósticos (en términos del estándar BPMN), sin necesidad de detalles de implementación.

Sobre repositorios de procesos de negocio colaborativos (considerando las tres perspectivas descritas en la sección 2), en [25] se propone un repositorio distribuido para gestionar modelos de coreografía, y sus procesos públicos y privados. Dicho repositorio fue definido de acuerdo con los principios del diseño orientado a servicios y está basado en la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA: *Service Oriented Architecture*), con la finalidad de definir servicios interoperables, reusables, distribuidos y débilmente acoplados. El repositorio consiste de un repositorio global público que da soporte a la gestión de modelos de coreografía y públicos, y repositorios locales privados de las organizaciones que dan soporte a la gestión de modelos de procesos privados. Sin embargo, tal repositorio distribuido está enfocado en la gestión de los modelos, sin considerar aspectos relativos a su ejecución distribuida.

Hay algunas propuestas que también sacan provecho de las arquitecturas basadas en servicios para el establecimiento de colaboraciones y dar soporte al ciclo de vida de los procesos colaborativos, particularmente en lo que respecta a su ejecución distribuida, contemplando también la gestión de los modelos necesarios [59] [60] [61] [62] [36] [63]. Esto permite a las organizaciones resolver los inconvenientes del costo y complejidad que supone contar con los sistemas de información orientados a procesos para participar de procesos colaborativos, particularmente si las implementaciones correspondientes pueden ser desplegadas en la Nube en lugar de utilizar infraestructuras propias.

Las dos características de interés para el presente trabajo pueden resumirse en: (1) la disponibilidad de un repositorio de procesos de negocio colaborativos considerando de forma completa los aspectos de ejecución de los mismos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(autonomía de las organizaciones; ejecución descentralizada; interacciones entre pares; y abstracciones adecuadas para representar comunicaciones) y monitoreo (vista global de los mensajes intercambiados); y (2) un modelo semántico basado en ontologías para extraer conocimiento sobre las colaboraciones acordadas para ser ejecutadas. Sobre la base de la revisión bibliográfica de los trabajos detallados anteriormente, habiendo analizado el soporte que ofrecen las distintas alternativas a ambas características, se determina la conveniencia de extender el modelo de datos del repositorio distribuido de la plataforma descrita en [19] [20] [21], definiendo una ontología que permita responder interrogantes de utilidad para las organizaciones.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se ha descrito una primera versión de ontología para implementar un modelo semántico de un repositorio de modelos de procesos de negocio colaborativos, que toma como base los repositorios de modelos de una plataforma orientada a la ejecución de este tipo de procesos, detallada en trabajos anteriores. La ontología obtenida ha permitido realizar consultas, mostrando su potencial para extraer conocimiento y responder preguntas relacionadas a características estructurales de los modelos por parte de las organizaciones que conforman redes colaborativas y definen en conjunto los procesos colaborativos que desean llevar adelante.

## 7. Trabajos futuros

Luego de la validación de la ontología para extraer conocimiento y responder a algunas de las preguntas planteadas, el trabajo futuro se centrará en aplicar el modelo semántico a casos de estudio de interés, particularmente con la finalidad de mejorar el desempeño en forma global de Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) de la región que conforman (o puedan conformar) redes colaborativas. Se comenzará por analizar una empresa, la cual ha crecido lo suficiente como para contar con varias unidades de negocio autónomas que se interrelacionan, pero que aún conservan su criterio de mejora de procesos de forma independientemente, sin tener en cuenta una visión global. Partiendo de tal situación, se propone, mediante la aplicación de modelos de procesos de negocio colaborativos que impliquen una integración explícita entre las mismas, utilizar el modelo semántico para analizar posibles mejoras.

Otra dirección futura consiste en extender el modelo semántico para que pueda dar soporte a que organizaciones que aún no forman parte de una red colaborativa puedan encontrar potenciales candidatos para establecer colaboraciones, definiendo así nuevas redes colaborativas y procesos de negocio colaborativos. Esto implicaría ofrecer a las organizaciones servicios de consulta avanzados para encontrar nuevos socios.

Finalmente, también se pretende extender el modelo incorporando datos de la ejecución de los procesos, así como técnicas de minería de procesos y de aprendizaje automático (*Machine Learning*: ML), con la finalidad de poder extraer conocimiento para responder a preguntas no sólo relacionadas a características estructurales de los modelos de procesos colaborativos de las organizaciones, sino asociadas a aspectos propios de la ejecución de dichos procesos (detectar estacionalidades, cuellos de botella, etc.).

## Referencias

[1] A. Moeuf, R. Pellerin, S. Lamouri, S. Tamayo-Giraldo and R. Barbaray, "The Industrial Management of SMEs in the Era of Industry 4.0," *International Journal of Production Research,* vol. 56, no. 3, pp. 1118-1136, 2018.

[2] C. Durugbo, "Collaborative Networks: A Systematic Review and Multi-Level Framework," *International Journal of Production Research,* vol. 54, no. 12, pp. 3749-3776, 2016.

[3] C.-M. Chituc, A. Azevedo and C. Toscano, "A Framework Proposal for Seamless Interoperability in a Collaborative Networked Environment," *Computers in Industry,* vol. 60, no. 5, pp. 317-338, 2009.

[4] L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, N. Galeano and A. Molina, "Collaborative Networked Organizations – Concepts and Practice in Manufacturing Enterprises," *Computers & Industrial Engineering,* vol. 57, no. 1, pp. 46-60, 2009.

[5] B. Andres, P. Macedo, L. M. Camarinha-Matos and R. Poler, "Achieving Coherence between Strategies and Value Systems in Collaborative Networks," in *Working Conference on Virtual Enterprises*, Berlin, Heidelberg, 2014.

[6] W. Fdhila, D. Knuplesch, S. Rinderle-Ma and M. Reichert, "Verifying Compliance in Process Choreographies: Foundations, Algorithms, and Implementation," *Information Systems,* vol. 108, p. 101983, 2022.

[7] L. Amdah and A. Anwar, "BPMN Profile for Collaborative Business Process," in *2018 IEEE 5th International Congress on Information Science and Technology (CiSt)*, 2018.

[8] I. M. Lazarte, L. H. Thom, C. Iochpe, O. Chiotti and P. D. Villarreal, "A Distributed Repository for Managing Business Process Models in Cross-Organizational Collaborations," *Computers in Industry,* vol. 64, no. 3, pp. 252-267, 2013.

[9] A. L. Osório, L. M. Camarinha-Matos and H. Afsarmanesh, "Cooperation Enabled Systems for Collaborative Networks," in *Working Conference on Virtual Enterprises*, Berlin, Heidelberg, 2011.

[10] P. D. Villarreal, E. Salomone and O. Chiotti, "Modeling and Specification of Collaborative Business Processes with an MDA Approach and a UML Profile," in

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Services and Business Computing Solutions with XML: Applications for Quality Management and Best Processes*, IGI Global, 2009, pp. 238-268.

[11] P. D. Villarreal, E. Salomone and O. Chiotti, "A MDA-based Development Process for Collaborative Business Processes," *Milestones, Models and Mappings for Model-Driven Architecture,* p. 17, 2006.

[12] M. Weske, Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures, 4 ed., Springer, 2024.

[13] Object Management Group (OMG), "Business Process Model and Notation (BPMN) version 2.0. Specification "formal/2011-01-03". Technical Report.," 2011.

[14] W. Fdhila, S. Rinderle-Ma, D. Knuplesch and M. Reichert, "Change and Compliance in Collaborative Processes," in *2015 IEEE International Conference on Services Computing*, 2015.

[15] P. D. Villarreal, I. Lazarte, J. Roa and O. Chiotti, "A Modeling Approach for Collaborative Business Processes Based on the UP-ColBPIP Language," in *International Conference on Business Process Management*, Berlin, Heidelberg, 2009.

[16] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling and H. A. Reijers, Fundamentals of Business Process Management, 2 ed., Springer, 2018.

[17] Z. Yan, R. Dijkman and P. Grefen, "Business Process Model Repositories – Framework and Survey," *Information and Software Technology,* vol. 54, no. 4, pp. 380-395, 2012.

[18] Z. Ma, B. Wetzstein, D. Anicic and S. Heymans, "Semantic Business Process Repository," *SBPM,* vol. 251, p. 55, 2007.

[19] D. A. Cocconi and P. D. Villarreal, "Microservices-based Approach for a Collaborative Business Process Management Cloud Platform," in *2020 XLVI Latin American Computing Conference (CLEI)*, 2020.

[20] D. A. Cocconi, J. M. Roa and P. D. Villarreal, "Collaborative Business Process Management Through a Platform Based on Cloud Computing," *CLEI Electronic Journal,* vol. 21, no. 2, p. paper 6, 2018.

[21] D. A. Cocconi, J. M. Roa and P. D. Villarreal, "Cloud-based Platform for Collaborative Business Process Management," in *2017 XLIII Latin American Computer Conference (CLEI)*, 2017.

[22] I. M. Lazarte, P. D. Villarreal, L. H. Thom and C. Iochpe, "An MDA-Based Method for Designing Integration Process Models in B2B Collaborations," in *International Conference on Enterprise Information Systems*, 2011.

[23] M. Borkowski, W. Fdhila, M. Nardelli, S. Rinderle-Ma and S. Schulte, "Event-based Failure Prediction in Distributed Business Processes," *Information Systems,* vol. 81, pp. 220-235, 2019.

[24] L. Xu and P. de Vrieze, "Supporting Collaborative Business Processes: A BPaaS Approach," *International Journal of Simulation and Process Modelling,* vol. 13, no. 1, pp. 57-72, 2018.

[25] I. M. Lazarte, L. H. Thom, C. Iochpe, O. Chiotti and P. D. Villarreal, "A Distributed Repository for Managing Business Process Models in Cross-organizational Collaborations," *Computers in Industry,* vol. 64, no. 3, pp. 252-267, 2013.

[26] I. M. Lazarte, E. Tello-Leal, J. Roa, O. Chiotti and P. D. Villarreal, "Model-Driven Development Methodology for B2B Collaborations," in *2010 14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops*, 2010.

[27] J. Ortiz, V. Torres and P. Valderas, "Microservice Compositions Based on the Choreography of BPMN Fragments: Facing Evolution Issues," *Computing,* pp. 1-42, 2022.

[28] L. Amdah and A. Anwar, "BPMN Profile for Collaborative Business Process," in *2018 IEEE 5th International Congress on Information Science and Technology (CiSt)*, 2018.

[29] M. A. Barcelona, L. García-Borgoñón, M. J. Escalona and I. Ramos, "CBG-Framework: A Bottom-up Model-based Approach for Collaborative Business Process Management," *Computers in Industry,* vol. 102, pp. 1-13, 2018.

[30] G. P. Bhandari and R. Gupta, "Extended Fault Taxonomy of SOA-Based Systems," *Journal of computing and information technology,* vol. 25, no. 4, pp. 237-257, 2017.

[31] F. Ellouze, M. A. Chaabane, R. Bouaziz and E. Andonoff, "Addressing Inter-Organisational Process Flexibility Using Versions: The VP2M Approach," in *2016 IEEE Tenth International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)*, 2016.

[32] W. Viriyasitavat, L. Da Xu, D. Niyato, Z. Bi and D. Hoonsopon, "Applications of Blockchain in Business Processes: A Comprehensive Review," *IEEE Access,* 2022.

[33] C. Prybila, S. Schulte, C. Hochreiner and I. Weber, "Runtime Verification for Business Processes Utilizing the Bitcoin Blockchain," *Future generation computer systems,* vol. 107, pp. 816-831, 2020.

[34] B. Diirr and C. Cappelli, "A Systematic Literature Review to Understand Cross-organizational Relationship Management and Collaboration," in *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 2018.

[35] O. Oyekola and L. Xu, "Verification and Compliance in Collaborative Processes," in *Boosting Collaborative Networks 4.0: 21st IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2020, Proceedings*, Valencia, España, 2020.

[36] A. Weiß, V. Andrikopoulos, S. Gómez Sáez, M. Hahn and D. Karastoyanova, "ChorSystem: A Message-based System for the Life Cycle Management of Choreographies," in *On the Move to Meaningful*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Internet Systems: OTM 2016 Conferences: Confederated International Conferences: CoopIS, C&TC, and ODBASE 2016*, Rhodes, Greece, 2016.

[37] G. P. Bhandari and R. Gupta, "Fault Analysis of Service-oriented Systems: A Systematic Literature Review," *IET Software,* vol. 12, no. 6, pp. 446-460, 2018.

[38] J. Nikolić, N. Jubatyrov and E. Pournaras, "Self-healing Dilemmas in Distributed Systems: Fault Correction vs. Fault Tolerance," *IEEE Transactions on Network and Service Management,* vol. 18, no. 3, pp. 2728-2741, 2021.

[39] C. Di Ciccio, G. Meroni and P. Plebani, "On the Adoption of Blockchain for Business Process Monitoring," *Software and Systems Modeling,* vol. 21, no. 3, pp. 915-937, 2022.

[40] L. Xu, L. Zhang, E. B. Lakew and C. Pahl, "Resource State Monitoring of Service Transactions in Cloud Systems," in *2014 IEEE International Conference on Services Computing*, 2014.

[41] A. Baouab, W. Fdhila, O. Perrin and C. Godart, "Towards Decentralized Monitoring of Supply Chains," in *2012 IEEE 19th International Conference on Web Services*, 2012.

[42] O. Ezenwoye and B. Tang, "Monitoring Decentralized Interacting Services with a Global State Choreography Model," in *2010 IEEE International Conference on Web Services*, 2010.

[43] M. Aouachria, A. R. Ghomari and R. Seghir, "Towards a Repository for the Reuse of Business Process Models from a Requirements Analysis Perspective," in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Processing, Security and Advanced Communication*, 2015.

[44] N. Moghadam and H.-y. Paik, "Towards a Common Understanding of Business Process Instance Data," in *2016 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD)*, 2016.

[45] R. Neches, R. Fikes, T. Finin, T. Gruber, R. Patil, T. Senator and W. R. Swartout, "Enabling Technology for Knowledge Sharing," *AI Magazine,* vol. 12, no. 3, pp. 36-36, 1991.

[46] T. R. Gruber, "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications," *Knowledge Acquisition,* vol. 5, no. 2, pp. 199-220, 1993.

[47] R. Studer, V. R. Benjamins and D. Fensel, "Knowledge Engineering: Principles and Methods," *Data & Knowledge Engineering,* vol. 25, no. 1-2, pp. 161-197, 1998.

[48] D. Găsević, D. Djurić and V. Devedžić, Model Driven Architecture and Ontology Development, Springer, 2006.

[49] K. K. Breitman, M. A. Casanova and W. Truszkowski, Semantic Web: Concepts, Technologies and Applications, Springer, 2007.

[50] S. Staab and R. Studer, Handbook on Ontologies, 2 ed., Springer, 2009.

[51] R. Singer, "Agent-Based Business Process Modeling and Execution: Steps Towards a Compiler-Virtual Machine Architecture," in *Proceedings of the 8th International Conference on Subject-oriented Business Process Management*, 2016.

[52] J. P. Ferreyra, M. Pérez, C. Verino and D. Cocconi, "Propuesta de modelo semántico de repositorio de procesos de negocio para la gestión de procesos de negocio colaborativos," in *9no. Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de la Información (CONAIISI)*, Mendoza, Argentina, 2021.

[53] J. P. Ferreyra, M. Pérez, D. Cocconi and C. Verino, "Modelo semántico de repositorio de procesos de negocio para la gestión de procesos de negocio colaborativos," in *XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2021)*, Chilecito, La Rioja, Argentina, 2021.

[54] N. F. Noy and D. L. McGuinness, "Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology," *Knowledge Systems Laboratory, Stanford University,* pp. 1-18, 2001.

[55] A. Polyvyanyy, C. Ouyang, A. Barros and W. M. P. van der Aalst, "Process Querying: Enabling Business Intelligence through Query-based Process Analytics," *Decision Support Systems,* vol. 100, pp. 41-56, 2017.

[56] R. Sarno, E. W. Pamungkas, D. Sunaryono and Sarwosri, "Workflow Common Fragments Extraction Based on WSDL Similarity and Graph Dependency," in *2015 International Seminar on Intelligent Technology and its Applications (ISITIA)*, 2015.

[57] E. Mturi, "Design of Business Process Model Repositories: Requirements, Semantic Annotation Model and Relationship Metamodel," in *Doctoral dissertation, Department of Computer and Systems Sciences, Stockholm University*, 2015.

[58] S. Zaplata, K. Hamann, K. Kottke and W. Lamersdorf, "Flexible Execution of Distributed Business Processes based on Process Instance Migration," *Journal of Systems Integration,* vol. 1, no. 3, p. 3, 2010.

[59] M. Autili, A. Di Salle, C. Pompilio and M. Tivoli, "CHOReVOLUTION: Hands-on In-service Training for Choreography-based Systems," in *International Conference on Coordination Languages and Models*, 2020.

[60] M. Autili, A. Di Salle, F. Gallo, C. Pompilio and M. Tivoli, "A Choreography-based and Collaborative Road Mobility System for L'Aquila City," *Future Internet,* vol. 11, no. 6, p. 132, 2019.

[61] L. Xu and P. de Vrieze, "Supporting Collaborative Business Processes: A BPaaS Approach," *International*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Journal of Simulation and Process Modelling,* vol. 13, no. 1, pp. 57-72, 2018.

[62] J. Innerbichler, S. Gonul, V. Damjanovic-Behrendt, B. Mandler and F. Strohmeier, "NIMBLE Collaborative Platform: Microservice Architectural Approach to Federated IoT," in *2017 Global Internet of Things Summit (GIoTS)*, 2017.

[63] M. Autili, P. Inverardi and M. Tivoli, "CHOReOS: Large Scale Choreographies for the Future Internet," in *2014 Software Evolution Week-IEEE Conference on Software Maintenance, Reengineering, and Reverse Engineering (CSMR-WCRE)*, 2014.

[64] F. Corradini, A. Morichetta, A. Polini, B. Re and F. Tiezzi, "Collaboration vs Choreography Conformance in BPMN 2.0: From Theory to Practice," in *2018 IEEE 22nd International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC)*, 2018.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Documentación de usuarios en productos software empresariales: una revisión sistemática de literatura académica y gris.

Lic. Natalia Alejandra Tarabini
*Facultad de Ciencias de la Administración. Universidad Nacional de Entre Ríos, Monseñor Tavella 1424. Concordia. CP (3200). Provincia de Entre Ríos, Argentina*
natalia.tarabini@uner.edu.ar

Mg. Marcelo Alberto Colombani
*Facultad de Ciencias de la Administración. Universidad Nacional de Entre Ríos, Monseñor Tavella 1424. Concordia. CP (3200). Provincia de Entre Ríos, Argentina*
marcelo.colombani@uner.edu.ar

## Resumen

*La documentación de usuarios es un componente esencial en la Ingeniería de Software, especialmente en sistemas ERP, donde la complejidad funcional y organizacional exige materiales de apoyo efectivos. Sin embargo, la literatura reporta que esta documentación suele ser deficiente o inexistente. Este trabajo presenta una revisión sistemática de literatura académica y gris sobre metodologías y características de la documentación de usuarios en software empresarial. Los resultados muestran escasa producción académica, frente a guías prácticas provenientes de la industria, con sesgo comercial pero de utilidad. De la literatura se deduce la importancia de segmentar por roles, mantener la actualización, orientar a procesos de negocio y diversificar formatos. Estos hallazgos revelan vacíos de investigación y justifican la necesidad de metodologías de documentación de usuarios simples y pragmáticas.*

## 1. Introducción

La documentación de productos de software cumple un rol fundamental en la Ingeniería de Software. Sommerville destaca que el software no se limita al código ejecutable, sino que también comprende la documentación asociada. Un sistema profesionalmente desarrollado incluye programas, archivos de configuración, documentación del sistema, que describe su estructura y funcionamiento, y la documentación del usuario, que orienta a los usuarios sobre cómo utilizarlo [1].

De acuerdo con Sommerville [2], la documentación de software se clasifica en documentación del proceso y del producto, siendo esta última la que se divide en documentación del sistema y del usuario. Dentro de la documentación de usuario, se identifican distintos tipos: manuales introductorios, de referencia, de instalación y descripciones funcionales. Estos responden a necesidades diferenciadas de los perfiles de usuario. Estas últimas tipologías constituyen la base sobre la cual se enmarca la revisión realizada en este trabajo.

Normas internacionales como la ISO/IEC/IEEE 26512 y 26513, refuerzan su importancia, señalando su impacto en la percepción del producto [3] y su papel clave en la reducción de costos de soporte y capacitación, y su contribución a la calidad percibida del sistema [4].

La relevancia de la documentación de usuario se acentúa en el caso de los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), los cuales integran los procesos de negocios de manufactura y producción, finanzas y contabilidad, ventas y marketing, y recursos humanos en un solo sistema de software [5]. Estos se caracterizan por su complejidad funcional, el impacto transversal que generan en las organizaciones que los adoptan y su continuo proceso evolutivo [6], [7], [8], [9]. Sin embargo, diversos estudios evidencian que la documentación de usuario suele ser inexistente [10] o deficiente [11], [8], especialmente en contextos de desarrollo ágiles donde no está claro cuánto, que y como documentar [12] o con restricciones presupuestarias [13].

Frente a esta problemática, resulta necesario conocer con mayor precisión qué metodologías se han propuesto y qué características presenta la documentación de usuarios en sistemas ERP. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sistemática y multivocal, que abarca tanto literatura académica como literatura gris, con el propósito de cubrir estas necesidades y proponer una metodología a seguir para el proceso de documentación de usuario en sistemas ERP que no se encuentren documentados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 2. Metodología

La revisión se planteó como un estudio secundario sistemático en el área de Ingeniería de Software. Para la literatura académica se siguieron las guías de Kitchenham y Charters [14], y para la literatura gris se adoptó las directrices del enfoque de Multivocal Literature Review (MLR) propuesto por Garousi, Felderer y Mäntylä [15] .

### 2.1. Preguntas de investigación (RQs)

Se formularon dos preguntas que guiaron la revisión:

**RQ1. ¿Qué metodologías se han propuesto para el proceso de documentación de usuarios de productos de software?** Esta pregunta busca identificar metodologías o métodos, enfoques y buenas prácticas existentes para planificar, crear, publicar y mantener la documentación orientada al usuario final de un producto software.

**RQ2. ¿Qué características presenta la documentación de usuarios en sistemas ERP?** Esta pregunta busca examinar qué particularidades tiene la documentación orientada al usuario final en el contexto de sistemas ERP (Enterprise Resource Planning).

### 2.2. Revisión sistemática de literatura académica (SLR)

#### Fuentes de información

La búsqueda se realizó principalmente en Google Scholar, dado que este motor indexa múltiples bases de datos académicas relevantes (IEEE Xplore, ACM DL, Scopus y Web of Science).

#### Palabras clave y cadenas de búsqueda

Se emplearon términos en inglés y en español: “user documentation”, “user documentation process”, “end-user manual”, “ERP”, “ERP documentation characteristic”, “documentación de usuario”, “manual de usuario”. Las estrategias combinaron operadores lógicos (ej. ERP AND documentation AND characteristics) y búsquedas libres para ampliar la cobertura de resultados.

#### Rango temporal

Para responder a la RQ1 se definió un rango de búsqueda entre 2015 y 2025, con el objetivo de capturar literatura reciente sobre metodologías de documentación de usuarios. En el caso de la RQ2, debido a la escasa producción académica específica sobre características de la documentación en sistemas ERP en el período reciente, se amplió el rango temporal a partir del año 2000. Esta decisión metodológica permitió incluir contribuciones relevantes más antiguas, necesarias para dar respuesta a la pregunta de investigación.

#### Idiomas

Se incluyeron publicaciones en inglés y español, con el fin de abarcar tanto literatura internacional como aportes nacionales.

#### Criterios de inclusión

Se incluyeron:

- Estudios con foco en documentación de usuarios finales.
- Estudios que abordaran características de la documentación en ERP.
- Publicaciones con acceso a texto completo.
- Contribuciones en forma de propuestas metodológicas, estudios empíricos o revisiones.

#### Criterios de exclusión

Se excluyeron:

- Trabajos centrados únicamente en documentación de procesos o del producto sin atender la documentación de usuario.
- Estudios de documentación de usuario en contextos muy específicos.
- Publicaciones sin acceso a texto completo
- Aquellos que no mencionaran explícitamente a los usuarios finales.

#### Proceso de selección

La selección de estudios se desarrolló en tres etapas:

- Filtrado inicial mediante lectura de título y resumen.
- Lectura completa para evaluar la pertinencia.
- Aplicación de criterios de inclusión/exclusión para conformar el conjunto final de estudios.

El proceso se registró en una tabla de control en Excel, donde se documentaron las decisiones de inclusión y exclusión para cada estudio.

#### Resultado

En cuanto a los estudios académicos seleccionados, se identificaron 11 trabajos relevantes para la RQ1 y 8 para la RQ2. Esta diferencia refleja la disponibilidad desigual de evidencia según la dimensión de análisis considerada.

### 2.3. Revisión de literatura gris

#### Fuentes de información

La búsqueda se realizó en Google, blogs técnicos y guías de consultoras especializadas y en documentación oficial de grandes proveedores de ERP (SAP Help Portal, Microsoft Learn, Oracle Docs, Odoo Docs).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Palabras clave y cadenas de búsqueda**

Se usaron términos en inglés y en español: "user documentation process", "software user documentation process" y "proceso de documentación del usuario".

**Criterios de inclusión/exclusión**

Se incluyeron fuentes publicadas en inglés o español, con aportes sobre metodologías o características de la documentación de usuarios. Se excluyeron foros, comentarios breves y materiales sin autoría clara o sin relevancia para las RQs.

**Evaluación de calidad.**

Se construyó una matriz de evaluación de calidad en Excel, basada en cuatro criterios:

- Autoría y respaldo institucional.
- Vigencia temporal.
- Aporte a las preguntas.
- Valoración de posibles sesgos.

**Resultado.**

Para responder la RQ1, el conjunto final de literatura gris quedó conformado por 7 fuentes. En el caso de la RQ2, se consideraron esas mismas 7 fuentes, complementadas con 4 portales oficiales de grandes proveedores de ERP.

### 2.4. Estrategia de análisis y síntesis

Los datos extraídos de las fuentes académicas y grises se registraron en Excel y Zotero. La información fue organizada mediante categorías inductivas (metodologías y características), con el fin de responder las RQs. Los resultados de cada revisión se presentan en secciones diferenciadas (SLR y SGLR), y posteriormente se discuten en conjunto para identificar convergencias, divergencias y vacíos de investigación.

## 3. Resultados

### 3.1. RQ1 ¿Qué metodologías se han propuesto para el proceso de documentación de usuarios de productos de software en la literatura académica y gris?

**Literatura académica**

Se identificaron 48 estudios con acceso completo analizados relacionados a la RQ1, 35 se enfocaban en la documentación desde una perspectiva general, abordando documentación del proceso o documentación del producto, sin centrarse en la documentación de usuario final. Solo 13 estudios incluían referencias explícitas a la documentación de usuario, aunque en algunos casos no constituyen el foco principal del trabajo. Se descartaron 2 de ellos debido a que se concentraban en contextos sumamente específicos.

El análisis detallado se concentró en los 11 estudios restantes, dentro de los cuales se identificaron líneas temáticas recurrentes.

Una primera línea temática se refiere a la relevancia atribuida a la documentación de usuario. Los estudios coinciden en destacar su rol para reducir la curva de aprendizaje [16], minimizar errores [16], asegurar el uso correcto del sistema [17], [18], [19], [20], disminuir la dependencia de soporte técnico [16], [21], [20], mejorar la comunicación con las partes interesadas [10], considerarla un artefacto clave a entregar con el software [22], [23] y facilitar el mantenimiento posterior del software [17].

Algunos trabajos identifican atributos de calidad que la documentación debería cumplir [20], [21], [23], abordando criterios relacionados con la claridad, completitud y facilidad de uso.

Respecto de las dificultades más comunes, se destacan: las propias de metodologías ágiles para definir qué, cuándo y cómo documentar [10], [20]; la prevalencia de un lenguaje técnico poco accesible para el usuario final [16], [19], [21]; insatisfacción de los usuarios con la documentación disponible [21]; problemas de desactualización [18], [21], [22]; y carencias en la alineación con las necesidades reales del usuario [19] .

También se identificaron propuestas de herramientas para asistir el proceso de documentación, como el uso de wikis colaborativos [20], [22], la incorporación de herramientas de inteligencia artificial (IA) para optimizar la comunicación escrita [24], y el empleo de generadores automáticos de documentación [17], [18], [23].

Finalmente, los estudios sugieren recomendaciones para superar las dificultades, entre las cuales se destacan tratar la documentación como un requisito explícito [25], asegurar su actualización continua [23], [17], adaptar contenidos al perfil del usuario mediante análisis de audiencia [20], [22], evitar la jerga técnica [19], asignar rol especializado que tenga habilidades de redacción técnica para la redacción cuando sea posible [19].

**Literatura gris**

La evaluación de las siete fuentes de literatura gris muestra que todas provienen de organizaciones reconocidas en documentación técnica, adopción digital o gestión de conocimiento, lo que les otorga autoridad en el tema.

En cuanto a la vigencia temporal, destacan Document360 [26], Teamhub [27] y ClickLearn [28] como las más actuales. Slite [29] y MadCap [30] también mantienen relevancia. Solo Technical Writer HQ [31] no presenta fecha explícita, aunque su carácter formativo sugiere vigencia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Respecto al aporte de las fuentes, todas las fuentes aportan lineamientos prácticos y estructurados: desde procesos básicos [30], [27] y [31], guías paso a paso [29], [28] y [32], hasta consejos de expertos y ejemplos [26].

Sobre la objetividad, se observa un patrón común: la mayoría de las guías se insertan en blogs corporativos con fines de marketing, lo cual introduce un sesgo medio o alto. Sin embargo, este sesgo no invalida los contenidos, que resultan útiles como recomendaciones prácticas en ausencia de metodologías formales.

**Fuentes normativas complementarias**

Además de la literatura académica y gris analizada, se consultaron normas internacionales y se consideraron relevantes: ISO/IEC/IEEE 26511 proporciona requisitos para para los administradores en la planificación y gestión de la documentación [33], ISO/IEC/IEEE 26512 proporciona requisitos para los proveedores o adquirentes de documentación [3], ISO/IEC/IEEE 26513 proporciona requisitos para la verificación y validación de la documentación [4], ISO/IEC 26514 establece los requisitos para el diseño y desarrollo de la documentación de usuario del software [34], ISO/IEC/IEEE 26515 adapta las prácticas de documentación a contextos ágiles. [12] y ISO/IEC/IEEE 15289 especifica el propósito y el contenido de todos los elementos de información (documentación) identificados sobre la gestión del ciclo de vida del software y de los servicios, incluyendo la documentación de usuario [35]. Estas normas aportan criterios que complementan tanto las propuestas académicas como las prácticas observadas en la industria.

## 3.2. RQ2. ¿Qué características presenta la documentación de usuarios en sistemas ERP?

**Literatura académica**

Los estudios revisados permiten inferir características relevantes para la documentación de estos sistemas.

En primer lugar, la literatura reconoce la complejidad propia de los sistemas ERP [6], [7], caracterizados por su integración, flexibilidad y transversalidad [36].

Respecto de la documentación, los estudios coincide en que ésta no debe limitarse a describir funcionalidades técnicas del software, sino también debe incorporar información sobre los procesos de negocio [7], [13], [9], permitiendo al usuario comprender el "qué" y el "por qué" detrás de cada operación.

Asimismo, se señala la importancia de estructurar los contenidos considerando los diferentes perfiles de usuarios mediante documentación segmentada por roles, lo que favorece la pertinencia y evita la sobrecarga informativa [13].

Otro aspecto encontrado en la literatura es la necesidad de mantener la documentación actualizada en sincronía con las modificaciones tanto del sistema ERP como de los procesos organizacionales, evitando así que se convierta en un factor de obsolescencia o error [7], [37].

También se identifica una tendencia hacia la diversificación de formatos documentales, promoviendo el uso de recursos multimedia como videos, tutoriales interactivos o ayudas visuales para mejorar la experiencia de aprendizaje, especialmente en perfiles no técnicos [38].

Por último, un estudio propone un marco de evaluación de la calidad de la documentación, contemplando tanto dimensiones estructurales de claridad, organización, legibilidad, soporte gráfico, como dimensiones de contenido: cobertura de procesos, configuraciones y personalizaciones específicas del ERP [8].

**Literatura gris**

De las fuentes analizadas, la mayoría no menciona características específicas de la documentación de usuarios en sistemas ERP, sino que describen aspectos generales de la documentación de usuario. Únicamente [39] señala que, en proyectos ERP, la documentación de usuario final cumple una función de orientación, proporcionando instrucciones paso a paso para la realización de tareas dentro del sistema y guiando a los usuarios a través de distintos procesos de negocio.

En cuanto a la revisión de portales oficiales de ERP internacionalmente conocidos, permitió identificar cómo estructuran y ofrecen la documentación a sus usuarios:

- SAP es líder en software ERP. Brinda un portal de documentación a usuario "SAP Help Portal" [40] donde se organiza la documentación por producto, módulo. Permite realizar búsquedas sobre la documentación. Ofrece recorridos de aprendizaje de SAP y una sección "Qué hay de nuevo" donde se publica las modificaciones.
- Microsoft Dynamics 365, es un software de aplicaciones empresariales CRM y ERP inteligentes. Ofrece un portal [41] con documentación de cómo implementar, personalizar, administrar y usar los servicios y aplicaciones de Microsoft Dynamics 365. También ofrece capacitaciones y tutoriales.
- Oracle Fusion Cloud ERP es un ERP en la nube de Oracle. Cuenta con un portal de documentación donde centraliza documentación de los productos y una vez que ingresas a un producto muestra tareas para realizar el producto, algunas de ellas son: usar, implementar, administrar, configurar y ampliar [42].
- Odoo: es un sistema ERP disponible tanto en la nube como local, compuesto por diferentes módulos para gestionar todas las áreas de negocio. Brinda un portal de documentación donde tiene segmentada la información por módulos del software [43].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 4. Discusiones

Los resultados obtenidos a partir de la revisión bibliográfica académica y gris permiten interpretar el estado actual de las metodologías y características de la documentación de usuarios en productos de software, particularmente en sistemas ERP. A continuación, se discuten los hallazgos en función de las preguntas de investigación planteadas.

En relación con la RQ1 la revisión evidenció una escasa producción académica sobre metodologías específicas para la documentación de usuarios, lo que contrasta con los distintos lineamientos prácticos presentes en la literatura gris. Esta diferencia refleja una brecha entre el conocimiento científico y las necesidades de la práctica profesional, donde predominan guías corporativas con cierto sesgo comercial, aunque de indudable utilidad en contextos reales. La brecha no solo se explica por los distintos objetivos de ambos ámbitos (científicos vs. empresariales), sino también por el desplazamiento del interés académico hacia otros temas de investigación en Ingeniería de Software, como metodologías ágiles, DevOps o pruebas automáticas. En este marco, la documentación de usuarios, al no considerarse un artefacto central, ha quedado relegada en la agenda científica. No obstante, en la práctica industrial la documentación de usuario adquiere un rol estratégico, lo que impulsa a distintos proveedores de software y de gestión del conocimiento a desarrollar y difundir sus propias guías para la creación de documentación.

Respecto a la RQ2, aunque la literatura académica sobre documentación en ERP es limitada, los hallazgos se alinean con las prácticas observadas en los portales oficiales de los principales proveedores. Tanto en la academia como en la industria se enfatiza la necesidad de segmentar por roles, mantener la actualización y diversificar los formatos de entrega. Esto sugiere que, aun con escasa base empírica, existe una convergencia en torno a características críticas de la documentación de usuarios en ERP.

El papel de las normas internacionales, las cuales constituyen un marco normativo consolidado podría servir de puente entre las recomendaciones dispersas de la academia y las guías prácticas de la industria. No obstante, su adopción en la práctica real es limitada debido al nivel de formalismo, los costos de implementación y la falta de capacitación; lo que refuerza la necesidad de metodologías simples y pragmáticas que adapten dichos lineamientos a contextos organizacionales específicos.

El análisis permitió identificar tres temas distintos:

- La ausencia de metodologías validadas en la academia.
- El predominio de literatura gris con nivel medio o alto de sesgo
- La escasa literatura sobre características propias de documentación de software ERP.

Esto abre la oportunidad de desarrollar una propuesta metodológica que combine el rigor normativo, los aportes académicos y las prácticas efectivas de la industria.

## 5. Conclusiones

Este trabajo presentó una revisión sistemática de literatura académica y gris orientada a identificar metodologías y características de la documentación de usuarios en productos de software empresariales. Los resultados muestran que la producción académica específica en este ámbito es limitada y fragmentada, mientras que la industria aporta lineamientos prácticos de amplia difusión, aunque condicionados por un sesgo comercial.

Pese a esta divergencia, se observan coincidencias en torno a características críticas de la documentación de usuarios en ERP, tales como la necesidad de segmentación por roles, actualización continua, orientación a procesos de negocio y diversificación de formatos. Asimismo, las normas internacionales de la familia ISO/IEC/IEEE constituyen un marco complementario de referencia, aún con limitada adopción en la práctica.

En conjunto, estos hallazgos aportan un panorama integrador del estado del arte y de la práctica, y evidencian vacíos que justifican la necesidad de metodologías simples y pragmáticas. Como trabajo futuro, se plantea el diseño y validación de una metodología que integre las distintas fuentes de evidencia, alineando estándares internacionales con las necesidades de la industria.

## 6. Referencias

[1] I. Sommerville, *Software Engineering*, 10th ed. Boston: Pearson Education Limited, 2016.

[2] I. Sommerville, «Chapter 30: Documentation. A Revised Chapter from the Book Software Engineering». 2010. Accedido: 29 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://software-engineering-book.com/downloads/

[3] «International Standard. ISO/IEC/IEEE - Systems and software engineering - Requirements for acquirers and suppliers of information for users», *ISOIECIEEE 265122017E*, pp. 1-47, 2017, doi: 10.1109/IEEESTD.2017.8288807.

[4] «International Standard. ISO/IEC/IEEE - Systems and software engineering – Requirements for testers and reviewers of information for users», *ISOIECIEEE 265132017E*, pp. 1-49, 2017, doi: 10.1109/IEEESTD.2017.8085435.

[5] K. C. Laudon y J. P. Laudon, *Sistemas de información gerencial (Decimocuarta ed.)*. México: Pearson Educación, 2016.

[6] N. Ahituv, S. Neumann, y M. Zviran, «A System Development Methodology for ERP Systems», *J. Comput. Inf. Syst.*, vol. 42, n.º 3, pp. 56-67, 2002, doi: 10.1080/08874417.2002.11647504.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[7] J. E. Scott, «Technology acceptance and ERP documentation usability», *Commun. ACM*, vol. 51, n.º 11, pp. 121-124, 2008, doi: 10.1145/1400214.1400239.

[8] L. Aversano, D. Guardabascio, y M. Tortorella, «Analysis of the Documentation of ERP Software Projects», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 121, pp. 423-430, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.11.057.

[9] N. Panayiotou, S. Gayialis, S. Ponis, y T. Panayiotou, «Business Process Documentation for ERP- Supported Organisations», *WSEAS Trans. Comput.*, vol. 3, pp. 1512-1519, nov. 2004.

[10] G. Wagenaar, S. Overbeek, G. Lucassen, S. Brinkkemper, y K. Schneider, «Working software over comprehensive documentation – Rationales of agile teams for artefacts usage», *J. Softw. Eng. Res. Dev.*, vol. 6, n.º 1, p. 7, jul. 2018, doi: 10.1186/s40411-018-0051-7.

[11] A. Forward y T. C. Lethbridge, «The Relevance of Software Documentation, Tools and Technologies: A Survey», en *Proceedings of the 2002 ACM symposium on Document engineering*, nov. 2002, pp. 26--33. doi: 10.1145/585058.585065.

[12] «International Standard. ISO/IEC/IEEE - Systems and software engineering - Developing information for users in an agile environment», *ISOIECIEEE 265152018E*, pp. 1-32, 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8584455.

[13] J. E. Scott, «Post-implementation usability of ERP training manuals: The user's perspective», *Inf. Syst. Manag.*, vol. 22, n.º 2, 2005, doi: 10.1201/1078/45099.22.2.20050301/87279.8.

[14] B. Kitchenham y S. Charters, «Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering», vol. 2, ene. 2007.

[15] V. Garousi, M. Felderer, y M. V. Mäntylä, «Guidelines for including grey literature and conducting multivocal literature reviews in software engineering», *Inf. Softw. Technol.*, vol. 106, pp. 101-121, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.09.006.

[16] F. Sovrano, S. Vonlanthen, y A. Bacchelli, «Beyond the lab: An in-depth analysis of real-world practices in government-to-citizen software user documentation», *Inf. Softw. Technol.*, vol. 181, p. 107676, 2025, doi: 10.1016/j.infsof.2025.107676.

[17] G. Rong, Z. Jin, H. Zhang, Y. Zhang, W. Ye, y D. Shao, «DevDocOps: towards automated documentation for DevOps», en *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)*, IEEE, 2019, pp. 243-252. doi: 10.1109/ICSE-SEIP.2019.00034.

[18] R. Souza y A. Oliveira, «Guideautomator: Continuous delivery of end user documentation», en *2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Technologies Results Track (ICSE-NIER)*, IEEE, 2017, pp. 31-34. doi: 10.1109/ICSE-NIER.2017.10.

[19] R. Laue, «Anti-patterns in end-user documentation», en *Proceedings of the 22nd European Conference on Pattern Languages of Programs*, 2017, pp. 1-11. doi: 10.1145/3147704.3147726.

[20] M. Gastegger y S. Zünd, «Maintenance of technical and user documentation», abr. 2015.

[21] B. Alchimowicz y J. R. Nawrocki, «The COCA quality model for user documentation», *Softw. Qual. J.*, vol. 24, pp. 205-230, 2016, doi: 10.1007/s11219-014-9252-4.

[22] A. Vanhanen, «Documentation of the product during a software development process: the scaled agile framework», 2019. [En línea]. Disponible en: https://lutpub.lut.fi/handle/10024/159594

[23] G. Rong, Z. Jin, H. Zhang, Y. Zhang, W. Ye, y D. Shao, «DevDocOps: Enabling continuous documentation in alignment with DevOps», *Softw. Pract. Exp.*, vol. 50, n.º 3, pp. 210-226, 2020, doi: 10.1002/spe.2770.

[24] M. I. Korzeniewski *et al.*, «Estrategias ingenieriles e IA aplicadas en el Manual de Procedimientos del RIAA para fortalecer la comunicación escrita», *TE & ET*, n.º 37, pp. 174-181, 2024.

[25] T. Isola, «Analysis and Improvement of Software Documentation Processes for Software Developers in Nigeria», *IJIRMPS*, vol. 10, 2022, [En línea]. Disponible en: https://www.ijirmps.org/papers/2022/2/1417.pdf

[26] Document360, «User Documentation Guide: Expert Tips, Best Practices and Examples». [En línea]. Disponible en: https://document360.com/blog/user-documentation/

[27] Teamhub, «Understanding User Documentation in Software Development». [En línea]. Disponible en: https://teamhub.com/blog/understanding-user-documentation-in-software-development/

[28] ClickLearn, «How to Create Compelling End User Documentation». [En línea]. Disponible en: https://www.clicklearn.com/blog/user-documentation/

[29] Slite, «How to Create Effective User Documentation». [En línea]. Disponible en: https://slite.com/en/learn/user-documentation

[30] MadCap, «How to Write a User Guide for Software: The Basic Process». [En línea]. Disponible en: https://www.madcapsoftware.com/blog/how-to-write-user-guide-software-the-basic-process/

[31] T. W. HQ, «What is User Documentation?» [En línea]. Disponible en: https://technicalwriterhq.com/documentation/user-documentation/

[32] F. Documentation, «Creating how-to guides the easy way». 2025. [En línea]. Disponible en: https://getflowshare.com/creating-how-to-guides-the-easy-way/

[33] «International Standard. ISO/IEC/IEEE - Systems and software engineering - Requirements for managers of information for users of systems, software, and services», *ISOIECIEEE 265112018E*,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



pp. 1-90, 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8584518.

[34] «IEEE Standard for Adoption of ISO/IEC 26514:2008 Systems and Software Engineering–Requirements for Designers and Developers of User Documentation», *IEEE Stand. Adopt. ISOIEC 265142008 Syst. Softw. Eng. Des. Dev. User Doc.*, 2008.

[35] «International Standard. ISO/IEC/IEEE - Systems and software engineering - Content of life-cycle information items (documentation)», *ISOIECIEEE 152892017E*, pp. 1-97, 2017, doi: 10.1109/IEEESTD.2017.7942151.

[36] S. Uwizeyemungu y L. Raymond, «Essential characteristics of an ERP system: conceptualization and operationalization», *J. Inf. Organ. Sci.*, vol. 29, n.º 2, pp. 69-81, 2005.

[37] J.-B. Maas, P. C. van Fenema, y J. Soeters, «ERP as an organizational innovation: key users and cross-boundary knowledge management», *J. Knowl. Manag.*, vol. 20, n.º 3, pp. 557-577, ene. 2016, doi: 10.1108/JKM-05-2015-0195.

[38] M. Nakayama, E. Hustad, N. Sutcliffe, y M. Beckfield, «Organic transformation of ERP documentation practices: Moving from archival records to dialogue-based, agile throwaway documents», *Int. J. Inf. Manag.*, vol. 74, p. 102717, 2024, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2023.102717.

[39] Flowshare, «End-user Documentation». 2025. [En línea]. Disponible en: https://getflowshare.com/end-user-documentation/

[40] SAP Help Portal, «SAP Online Help Documentation». [En línea]. Disponible en: https://help.sap.com/docs/

[41] Microsoft, «Dynamics 365 Documentation». [En línea]. Disponible en: https://learn.microsoft.com/en-us/dynamics365/

[42] Oracle, «Oracle Documentation». [En línea]. Disponible en: https://docs.oracle.com/en/

[43] Odoo, «Odoo 18.0 Documentation – Applications». [En línea]. Disponible en: https://www.odoo.com/documentation/18.0/applications.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Propuesta de Arquitectura Para el Desarrollo de un Sistema de Agentes de IA Basada en Protocolos

Nicolás Hernández, Julio Castillo, Marina Cardenas, Emanuel Ravera, Matias Koroch, Juan Liendo, Tito Santino, Matia Negrelli, Sofia Brittos
{damiannicolas05, dr.jotacastillo, ing.marinacardenas, ravera.emanuel, mkorochdesk, juan.lie.2002, zsantinoz, matutecba19, sofiibritos01}@gmail.com
Laboratorio de Investigación de Software
Dpto. Ingeniería en Sistemas de Información
Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional

**Resumen**

*El presente trabajo propone una arquitectura destinada al desarrollo de sistemas de agentes de inteligencia artificial (IA) especializados y adaptados a las necesidades particulares de cada organización.*

*La arquitectura planteada se apoya en tres protocolos recientes en fase de adopción por parte de la industria: el protocolo AG-UI (Agent-User Interaction), propuesto por CopilotKit; el protocolo MCP (Model Context Protocol), desarrollado por Anthropic; y el protocolo A2A (Agent-to-Agent), desarrollado por Google.*

*La propuesta define un ecosistema integral de agentes de IA que, sin pretender ser exhaustivo, ofrece flexibilidad para que algunos de sus componentes sean opcionales según los requerimientos de implementación.*

***Palabras Clave:*** *Inteligencia artificial, Machine Learning, Deep Learning, LLM, Grandes Modelos de Lenguaje, RAG, Generación Aumentada por Recuperación, Embeddings, Transformers, Agentes de AI, Sistemas Multi Agentes, MCP, Model Context Protocol, A2A, Agent-to-Agent, AG-UI, Agente-User Interface.*

## 1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) es el campo que estudia cómo simular las capacidades cognitivas del ser humano. Los sistemas desarrollados en este ámbito perciben su entorno, procesan información mediante tareas y herramientas, aprenden a partir de mecanismos supervisados o no supervisados, y responden con cierto grado de autonomía [1].

En el Seminario de Dartmouth (1956) se formuló una de las primeras definiciones de IA: “los sistemas que demuestran un comportamiento inteligente analizando su entorno y actuando con cierto grado de autonomía para lograr objetivos específicos”. Desde entonces, estos sistemas han evolucionado hasta llegar a los actuales LLM (Grandes Modelos de Lenguaje o Large Language Model).

Dentro del campo de la IA, el aprendizaje automático (Machine Learning, ML) ha adquirido especial relevancia, ya que permite que las computadoras aprendan a partir de los datos mediante algoritmos capaces de identificar patrones, en contraposición con la programación tradicional que define paso a paso las acciones a ejecutar. Entre sus aplicaciones se destacan la visión por computadora, la predicción, el análisis semántico, el procesamiento del lenguaje natural y la recuperación de información.

El aprendizaje profundo (Deep Learning, DL) constituye un subconjunto del ML que utiliza redes neuronales con gran cantidad de capas y parámetros [2]. Su evolución ha permitido avances significativos en el procesamiento del lenguaje natural mediante Modelos de Lenguaje (LM) y, más recientemente, LLM y GenAI (IA Generativa). Ejemplos destacados incluyen ChatGPT, LLaMA y otros, que se caracterizan por su capacidad para comprender y generar lenguaje humano [3].

El uso de LLM ha impulsado una tendencia hacia el desarrollo de agentes inteligentes. Según una encuesta realizada por LangChain —plataforma de herramientas para el desarrollo de agentes con una amplia comunidad de desarrolladores—, el 51% de los participantes declaró utilizar agentes en producción, mientras que el 78% planifica implementarlos en su organización. La encuesta, realizada a 1300 profesionales del sector[1]. Esto pone en evidencia el auge y crecimiento en la utilización de sistemas de agentes y sistemas multiagentes en el sector.

Para poder comprender qué son los Sistemas de Agentes o los Sistemas Multi Agentes, hay que definir qué es un agente. En la actualidad existe un debate sobre cuál es su definición, pero todos concuerdan en un conjunto de características que lo definen. Por lo que podemos definir a un agente como un sistema de software capaz de percibir su entorno, actuar con autonomía —en forma individual o

[1] https://www.langchain.com/stateofaiagents

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en colaboración con otros agentes— y producir cambios en el entorno para cumplir sus objetivos [1] [4]. Los agentes poseen características que los diferencian de las aplicaciones de software tradicionales, tales como:

- Autonomía.
- Reactividad.
- Proactividad.
- Habilidad social.
- Capacidad de cooperación.
- Capacidad de razonamiento.
- Comportamiento adaptativo.

La interconexión de agentes posibilita la creación de sistemas mayores denominados sistemas multiagente [4]. Estos sistemas encuentran aplicación en diversas áreas, entre ellas [5]:

- Reducción de costos.
- Reducción de errores.
- Mejorar la satisfacción del usuario.
- Investigación científica.
- Asistencia en servicios financieros.
- Asistencia Personal.
- Planeamiento urbano.
- Desarrollo de software.
- Aplicaciones empresariales.
- Educación.
- Salud.
- Mejora de la productividad.

Continuamente se descubren nuevos usos para la inteligencia artificial y los agentes. Actualmente se investiga sobre la estructura, capacidades y componentes de los sistemas basados en agentes, así como su interacción entre sí y con su entorno a través del hardware y software, por lo que surge la necesidad de definir arquitecturas específicas.

La adopción y uso de estas tecnologías aún se encuentran en etapas iniciales [4], por lo que se prevé que surjan diferentes propuestas de arquitecturas.

Entre las propuestas más destacadas se encuentran FIPA (Fundación para Agentes Físicos Inteligentes o Foundation for Intelligent Physical Agents)[6], respaldada por la IEEE, y RETSINA [7], desarrollada por el Robotics Institute, Carnegie Mellon University. Ambas propuestas presentan diferentes características y lenguajes para el desarrollo de Agentes y Sistemas Multi-Agentes [8].

Con el reciente lanzamiento de los protocolos por compañías como Google (Protocolo A2A), Antrophic (Protocolo MCP) y Copiloto Kit (AG-UI), el desarrollo de este tipo de aplicaciones inteligentes y la interconexión entre las mismas se ha simplificado, por lo que el presente trabajo propone una arquitectura que integra dichos protocolos y presenta ejemplos de implementación práctica.

A continuación se describen los protocolos mencionados anteriormente para contextualizar el desarrollo de la arquitectura planteada:

## Protocolo MCP

El protocolo MCP [9] es un estándar abierto que permite a los desarrolladores crear conexiones seguras bidireccionales entre las fuentes de datos y las herramientas basadas en IA.

El mismo permite exponer los datos y funciones a través de servidores MCP para que sean utilizadas por chatbot inteligentes o crear aplicaciones cliente que se conecten (Clientes MCP) al servidor MCP de manera directa.

## Protocolo A2A

El protocolo A2A [10] creado por Google es un protocolo abierto que complementa al protocolo MCP. El mismo proporciona herramientas y contexto útiles a los agentes, para poder implementar sistemas multi agentes conectando el agente con agentes desarrollados por diferentes proveedores, ofreciendo la flexibilidad de poder ampliar aún más la funcionalidad del agente.

El protocolo sigue cinco principios clave:

- Adoptar capacidades agénticas.
- Crear sobre la base de los estándares existentes.
- Seguridad predeterminada.
- Soporte para tareas de larga duración.
- Funcionamiento con cualquier modalidad.

## Protocolo AG-UI

AG-UI [11] es un protocolo desarrollado por CopilotKit, el mismo transmite una secuencia única de eventos JSON a través de HTTP estándar o un canal binario opcional.

Este cuenta con SDK's tanto para TypeScript como para Python y permite la conexión con agentes como OpenAI, Ollama, LangGraph o código personalizado.

Dentro de las características que posee podemos mencionar:

- Los componentes se vuelven intercambiables.
- Flexibilidad de backend.
- Coordinación de múltiples agentes.
- Desarrollo mejorado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 2. Arquitectura planteada

En base a los protocolos mencionados se planteó el uso de una arquitectura que define un ecosistema para el agente a desarrollar. Esta arquitectura tiene por objetivos cumplir con las siguientes características:

- **Flexibilidad:** El agente debe ser capaz de adaptarse a nuevos requerimientos o mejorar sus funciones con el menor impacto posible, ante cualquier situación.
- **Conectividad:** El agente debe poder cooperar con otros agentes, mediante el intercambio de información, herramientas y funciones.
- **Usabilidad:** El agente debe poder interactuar de diferentes maneras con diferentes usuarios, ofreciendo una experiencia satisfactoria y a su vez permitir disminuir la curva de aprendizaje.
- **Modularidad:** El agente debe poder adaptar sus componentes hasta lograr una implementación adecuada a las necesidades del usuario u organización. Permitiendo implementar desde un conjunto mínimo de componentes que brindan la funcionalidad requerida o lograr una implementación completa de la arquitectura.
- **Compatibilidad:** El agente debe ser compatible con diversas fuentes de datos como sistemas heredados, diferentes tipos de APIs, otros agentes, documentos, hojas de cálculo, bases de datos de diferentes tipos.
- **Escalabilidad:** El agente debe poder incrementar su funcionalidad y conocimiento mediante un mecanismo que permita incorporar nuevas herramientas y fuentes de datos.

Para esto se definió una arquitectura que permite interconectar en red los componentes necesarios para lograr que el agente cumpla con las características antes mencionadas tal como se muestra en la *Figura 1*.

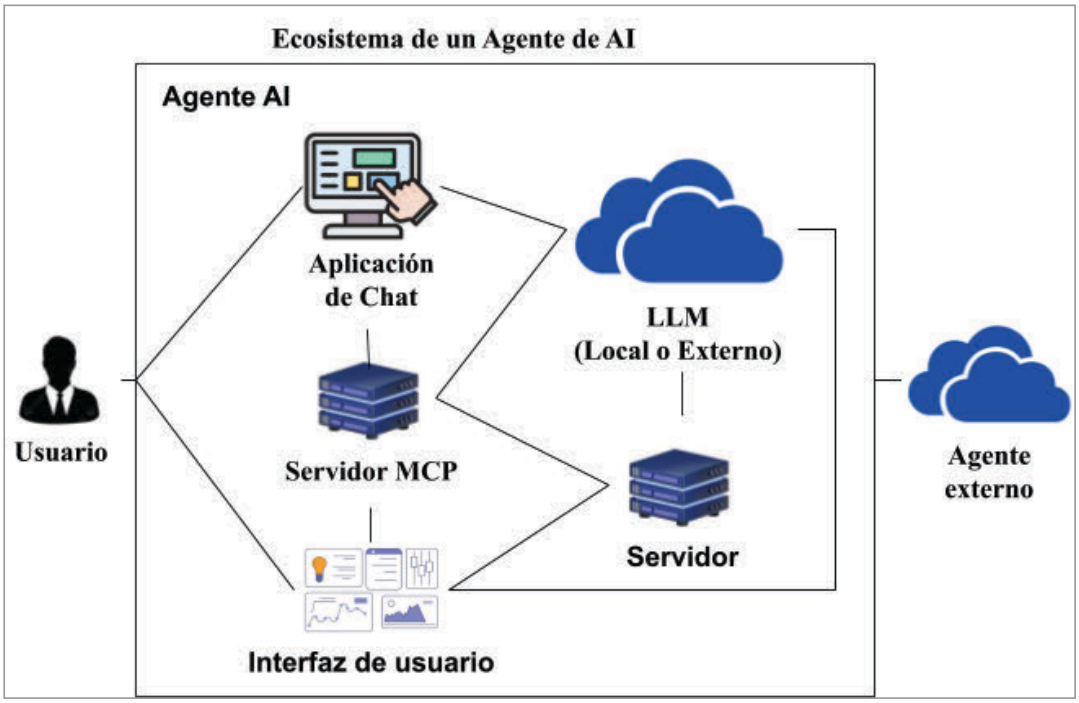



**Figura 1. Arquitectura propuesta**

La arquitectura consta de una propuesta que contempla cinco componentes principales, interconectados y hace uso a través de los protocolos MCP, A2A y AG-UI. De los componentes utilizados se pueden destacar por ser tecnologías recientes, los siguientes componentes:

### Servidor MCP

Los servidores MCP son servidores que permiten ampliar la funcionalidad de las aplicaciones de chat o chat bots de IA, mediante el desarrollo de funciones. Estos servidores utilizan el protocolo MCP desarrollado

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



por Antrophic para que los chatbots compatibles y clientes personalizados puedan descubrir funciones con las cuales ampliar sus capacidades más allá de solo procesar el lenguaje natural, procesar grandes volúmenes de información, encontrar patrones y responder consultas entre otras de las funcionalidades que presentan.

Un servidor MCP puede interactuar con un LLM directamente ya sea en línea o local para poder ofrecer una funcionalidad y también permite interconectar el agente con servidores que ofrezcan sus servicios a través de API's como es el caso de servidores RestFul, Rest o SOAP entre otros.

Los agentes pueden incorporar funcionalidad de servidores MCP personalizados o servidores MCP desarrollados por terceros.

Por ejemplo, un chatbot puede responder la consulta de un usuario y guardar los datos en un archivo de texto mediante el uso de una función de un servidor MCP.

La arquitectura propuesta plantea el uso de un servidor MCP como mínimo y no limita el máximo número de servidores MCP.

### Interfaz de usuario

La interfaz de usuario de la arquitectura propuesta puede conectarse al LLM de manera directa a través de funciones quedando el control de la sincronía por parte del usuario o utilizando el protocolo AG-UI para lograr una interfaz dinámica y con una funcionalidad e interactividad ampliadas por IA. Esto se logra mediante el uso del estándar HTTP y un conjunto de mensajes que permiten que la interfaz se mantenga actualizada mientras el LLM procesa la información.

### LLM

Un LLM es un modelo que permite comprender y generar texto simulando las capacidades lingüísticas humanas. Los mismos han sido entrenados con grandes y diversos volúmenes de datos mediante la utilización de técnicas avanzadas de aprendizaje automático [2]. En la actualidad existen una extensa variedad de modelos como ChatGPT, LLaMA, Gemini, Claude, Grok.

La arquitectura propuesta permite que el desarrollador opte por el modelo que mejor se adapte a sus necesidades ya sea que utilice modelos online o locales.

### Agentes Externos

Los agentes externos son agentes desarrollados por otras organizaciones o proveedores que brindan sus servicios y se comunican con nuestro agente mediante mecanismos que permiten la comunicación, coordinación y comunicación de múltiples agentes formando sistemas.

Los servicios ofrecidos por estos agentes pueden ser utilizados por nuestro agente mediante el protocolo A2A o Agent-to-Agent. Este protocolo permite que el agente cliente comunique las tareas a realizar y es el agente remoto el responsable de realizar las tareas para proporcionar la información apropiada.

El protocolo dispone de las siguientes capacidades las cuales permiten que los agentes interactúen entre sí:

- Descubrimiento de capacidades.
- Administración de tareas.
- Colaboración.
- Negociación de la experiencia del usuario.

En la arquitectura propuesta se tiene en consideración el hecho de que un agente puede conectarse con más de un agente externo.

### Grupos mínimos de componentes de la arquitectura

1. Grupo 1 (componentes mínimos) - **"Aplicación de chat + LLM + Servidor MCP"**: En este grupo se utiliza una aplicación de chat como ChatGPT que recibe las consultas de un usuario para que el LLM procese la información y determine si puede responder o si es necesario utilizar funciones en algunos de los MCP's disponibles para completar las tareas.
2. Grupo 2 (componentes mínimos) - **"Interfaz de usuario + LLM + Servidor MCP (opcional) + Servidor (opcional)"**: En este grupo la aplicación de chat es sustituida por una interfaz de usuario con capacidades ampliadas mediante el protocolo AG-UI, este permite interfaces más interactivas y con una mayor integración con los modelos de IA.

   En este caso el protocolo permite una mayor reactividad de la interfaz. Cuando el usuario realiza una acción, la comunicación entre la interfaz y el modelo se lleva a cabo a través de una serie de mensajes para mantener al usuario actualizado en todo momento sobre el estado de la tarea a realizar la cual puede ser la devolución de la respuesta a una consulta o una acción más compleja mediante las funciones brindadas por los servidores MCP.
3. **Grupo 3 (uso completo de los componentes)** El grupo 3 es la arquitectura completa observada en la figura 1, en la misma se permite la coexistencia de los grupos 1 y 2 ampliando las fuentes de datos y la funcionalidad mediante la utilización de servidores tradicionales que pueden servir información o realizar tareas de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



larga duración con conexión directa a modelos LLM.

El grupo 3 puede ampliar más su funcionalidad a través de la interacción con otros agentes externos a través del uso del protocolo A2A el cual maneja la interacción mediante el uso de mensajes lo que permite una retroalimentación constante de la interfaz de usuario.

## 3. Implementación del protocolo

Para el desarrollo de esta arquitectura se utilizaron como referencia varios proyectos desarrollados en el Laboratorio de Ingeniería de Software (LIS) en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba. En este laboratorio se llevan a cabo varios proyectos homologados y proyectos incubados permitiendo el desarrollo de tesis de maestría en Sistemas de Información, cumplimiento de becas de investigación y desarrollo de Prácticas Supervisadas de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información.

De estos proyectos actualmente se están desarrollando aplicaciones software que utilizan las últimas tecnologías y modelos de inteligencia artificial.

De esta aplicaciones se analizaron los puntos en común y las tecnologías utilizadas para la definición de los grupos de componentes de la arquitectura, pudiendo dividir los proyectos e incluirlos en los grupos antes definidos. La agrupación de los proyectos queda determinada de la siguiente manera:

### Grupo 1 (componentes mínimos):

**Aplicación 1:** Esta aplicación permite obtener datos de diversas fuentes de datos web mediante el uso de técnicas de Web Scraping, tecnologías como Playwright[2], pyautogui[3] y el uso de LLM para el análisis y procesamiento de la información.

Esta se compone de la aplicación de chat de Claude Desktop y un servidor MCP para brindar la funcionalidad necesaria.

[2] https://playwright.dev/
[3] https://pyautogui.readthedocs.io/en/latest/




**Figura 2.Resultados de la aplicación visualizados a través de Claude Desktop.**

### Grupo 2 (componentes mínimo):

Aplicación 1: Esta aplicación muestra una interfaz de usuario que permite seleccionar entre tres funcionalidades básicas:

1. Ingreso de archivos de código fuente o proyectos de software con el fin de realizar comparaciones mediante el cálculo de las distancias como distancia coseno [12], tf-idf [13] y distancia de levenshtein [14] para realizar comparaciones y detectar el grado de similitud.
2. Generación de código alternativo en base a un archivo o proyecto de software ingresado utilizando LLM y prompts con modificaciones especificadas divididas en categorías.
3. Comparación de archivos de código fuente o proyectos de software utilizando las capacidades de los LLM.

Esta aplicación utiliza una interfaz para seleccionar las opciones. En el caso de la opción que permite la generación de código alternativo se utilizan prompts para indicar al LLM el conjunto de modificaciones a realizar por lo que en este caso la conexión entre la interfaz y el LLM es directa.

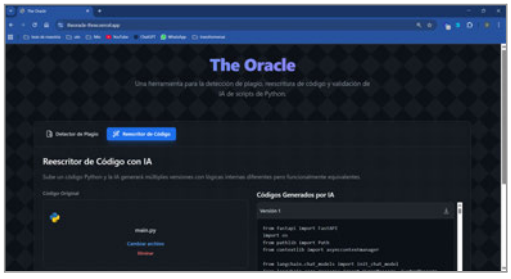



**Figura 3. Aplicación para comparación y generación código fuente.**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Aplicación 2: Esta aplicación tiene por objetivo la identificación de una serie de objetos necesarios para realizar el conteo de puntos de función para el método NESMA [15] teniendo como fuente de datos el backlog, las épicas e historias de usuario usadas en la metodología ágil SCRUM.

Para obtener los archivos de lógica interna (ILF), archivos de interfaz externa (EIF), se desarrolló una API con un prompt que indica al LLM el rol que debe desempeñar, le indica la tarea y da ejemplos del resultado esperado.

Aplicación 3: Esta aplicación tiene por objetivo analizar y procesar grandes volúmenes de texto, para la detección de patrones, categorización y clasificación, mediante el uso de análisis semántico, análisis contextual y la integración con modelos de IA.

La misma utiliza una interfaz visual para presentar los patrones encontrados y las métricas relevantes.

La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos se ve beneficiada de la integración con diferentes fuentes de datos como servidores APIs, de bases de datos y sistemas internos.

**Grupo 3 (uso completo de los componentes):**

Aplicación 1: El objetivo de esta aplicación es desarrollar un agente que brinde soporte sobre diferentes trámites académicos y permita la creación de los documentos.

Esta aplicación está en el grupo 3 dado que es una implementación práctica de la arquitectura total con el fin de estudiar el comportamiento y la interacción entre los componentes de la misma.

La misma utiliza un chatbot para realizar consultas sobre trámites disponibles.

La información de los trámites está disponible en un servidor MCP que además cuenta con la capacidad de generar documentos word en base a plantillas con ayuda de la librería python-docx.

Los datos necesarios para la creación de los documentos pueden ser ingresados por la interfaz el chatbot inteligente (Claude Desktop) o recuperada mediante la conexión a un servidor que tiene por función generar un RAG [16] en base a documentación almacenada en archivos pdf para facilitar la búsqueda de información.

El uso de la función del servidor MCP y el procesamiento de los datos es tarea del LLM, quien es también el encargado de retornar una respuesta adecuada al usuario.

Además se planea generar un interfaz de usuario con el protocolo AG-UI para que la interfaz interactúe en tiempo real con los modelos y ofrecer al usuario una mejor experiencia en el uso del agente.

Por último se integrará funcionalidad extra conectando el agente con agentes externos mediante el protocolo A2A.

## 4. Conclusión

Se realizó una comparación de FIPA, RETSINA y la arquitectura propuesta.

De esta comparación se puede observar que la arquitectura propuesta brinda pautas para el diseño interno del agente, a diferencia de FIPA y RETSINA, brinda mayor flexibilidad en los lenguajes de programación, cuenta actualmente con mayor soporte por parte de las organizaciones y empresas asociadas con Google, Anthropic y CopilotKit, y está más actualizada por hacer uso de los tres protocolos mencionados. En favor de FIPA y RETSINA estas disponen de versiones más estables.

Como resultados obtenidos podemos mencionar que se están desarrollando una amplia variedad de aplicaciones que hacen uso de las nuevas tecnologías de Inteligencia Artificial, lo que pone a los proyectos y el software desarrollado en sintonía con la tendencia actual del sector.

Esta variedad de aplicaciones desarrolladas permitió la definición, prueba y validación del protocolo propuesto, al poder utilizar los grupos mínimos de componentes definidos y el grupo total de componentes en la confección de cada aplicación aportando asi casos prácticos de implementación de la arquitectura propuesta.

Estas aplicaciones prácticas de la arquitectura demostraron que el protocolo es lo suficientemente flexible y escalable, para afrontar diversos problemas mediante la implementación de diferentes aplicaciones de agentes.

La propuesta de arquitectura presentada constituye un aporte para el desarrollo de sistemas de agentes de inteligencia artificial, al integrar tres protocolos recientes —MCP (Anthropic), A2A (Google) y AG-UI (CopilotKit)— que se encuentran en fase de adopción por parte de la industria. Esta integración no solo brinda un marco flexible y modular, sino que también facilita la interoperabilidad entre agentes heterogéneos, la conexión con múltiples fuentes de datos y la interacción dinámica con los usuarios.

En comparación con arquitecturas previas como FIPA o RETSINA, la propuesta se distingue por su mayor actualización tecnológica, compatibilidad con un amplio espectro de lenguajes de programación, y soporte de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | Arquitectura Propuesta | FIPA | RETSINA |
|---|---|---|---|
| **Área donde aplica** | Definición interna de los componentes de un agente y de la conexión con agentes externos | Define solo el comportamiento externo (interfaz), para la interconección entre agentes, dejando la implementación interna a criterio del equipo de desarrollo | Define la interconexión de agentes internos y externos en una organización, dejando el desarrollo interno de cada agente al equipo de desarrollo. |
| **Integraciones** | El uso de los protocolos MCP, A2A y AG-UI, permiten la integración con diferentes frameworks para crear aplicaciones que utilicen LLM y/o modelos propios. | No se especifica cómo se integra con los framework para crear aplicaciones que utilicen LLM y/o modelos propios, dado que se centra en el comportamiento externo. | No se especifica cómo se integra con los framework para crear aplicaciones LLM y/o modelos propios. |
| **Retrocompatibilidad** | Integra tecnologías como HTTP, JSON-RPC 2.0, Stdio, SSE, webhooks, WebSockets, JSON, REST, gRPC (ofrecidas por cada protocolo) | No se especifica. | Utiliza protocolos como TCP/IP, Wireless, infrarrojo y SSL. |
| **Seguridad** | Utiliza el pedido de consentimiento para el protocolo MCP y admite autenticación y autorización de nivel empresarial, con paridad de autenticación de OpenAPI y OAuth para el protocolo A2A. | Plantea el uso del estándar de seguridad X.509, dejando la seguridad interna del agente a criterio de los desarrolladores. | Utiliza seguridad en la capa de transporte, dejando la seguridad interna del agente a criterio de los desarrolladores. |
| **Lenguajes soportados** | Los lenguajes para el protocolo MCP son C#, Go, Java, Kotlin, Python, Ruby, Rust, Swift, TypeScript, para el protocolo A2A son Python, JS, Java, .NET y para el protocolo AG-UI son Python, TypeScript | Se define la implementación de mensajes ACL (Lenguaje de Comunicación de Agentes o Agent Communication Language). Para la implementación existe JADE un Framework desarrollado en Java. | Se define la implementación de KQML [17] y la utilización de los lenguajes de programación Java, Python, C++ y Lisp |
| **Organizaciones que lo soportan** | Esta arquitectura utiliza tres protocolos los cuales están soportados por Google, Anthropic y CopilotKit, y disponen tanto de el soporte por empresas importantes de la industria como por diferentes comunidades de desarrolladores. | La arquitectura es soportada por FIPA, una organización suiza. Esta organización y su arquitectura fueron aceptadas por la IEEE en 2005 como su undécimo comite. | Desarrollado en el Robotics Institute, Carnegie Mellon University. |

**Tabla 1. Comparación de la arquitectura propuesta con FIPA y RETSINA.**

empresas y comunidades que lideran el avance en IA. Esta comparación se puede observar en la Tabla 1.

La validación práctica a través de casos de uso reales —clasificados en tres grupos de complejidad creciente— demuestra que la arquitectura es viable, escalable y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



adaptable a diferentes contextos. Los ejemplos implementados abarcan desde aplicaciones de procesamiento de datos y análisis de código fuente, hasta sistemas completos que integran chatbots, generación automática de documentos y recuperación aumentada de información (RAG). Asimismo, se confirma que el uso combinado de los protocolos MCP, A2A y AG-UI simplifica la creación de agentes con capacidades avanzadas, como el descubrimiento de servicios y la colaboración entre agentes de distintos proveedores. Dichas capacidades resultan esenciales en un contexto donde la adopción de agentes inteligentes se encuentra en expansión, pero aún en etapas iniciales de estandarización.

Como trabajo futuro, se plantea continuar ampliando la funcionalidad de las aplicaciones desarrolladas, incorporando nuevas herramientas de integración, fortaleciendo los mecanismos de seguridad y optimizando la experiencia de usuario mediante interfaces más interactivas. Del mismo modo, la experiencia adquirida permitirá refinar la arquitectura, estableciendo mejores prácticas para su adopción en entornos productivos y la generación de métricas que permitan medir la eficiencia del protocolo que aún se encuentra en la etapa de desarrollo.

## Referencias

[1] E. Vázquez Pita, “Evolución del concepto de Inteligencia Artificial (IA) y sus consecuencias jurídicas,” Rev. Derecho UNED, no. 35, pp. 437–474, 2025, doi: 10.5944/rduned.35.2025.45884.

[2] P. P. Shinde and S. Shah, “A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications,” in Proc. 4th Int. Conf. Comput. Commun. Control Autom. (ICCUBEA), Pune, India, 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICCUBEA.2018.8697857.

[3] X. Hou, Y. Zhao, Y. Liu, Z. Yang, K. Wang, L. Li, X. Luo, D. Lo, J. Grundy, and H. Wang, “Large language models for software engineering: A systematic literature review,” arXiv preprint arXiv:2308.10620, 2023.

[4] J. Antonio et al., “Inteligencia artificial, sistemas inteligentes, agentes inteligentes,” Recimundo, vol. 4, no. 2, pp. 16–30, 2020, doi: 10.26820/recimundo/4.(2).mayo.2020.16-30.

[5] N. Krishnan, “AI agents: Evolution, architecture, and real-world applications,” arXiv preprint arXiv:2503.12687, 2025.

[6] Foundation for Intelligent Physical Agents, “FIPA: The Foundation for Intelligent Physical Agents,” [Online]. Disponible: http://www.fipa.org/. [Accedido: Oct. 20, 2025].

[7] O. Shehory and K. Sycara, “The RETSINA communicator,” in Proc. 4th Int. Conf. Autonomous Agents, 2000, pp. 199–200.

[8] J. M. Corchado, Modelos y arquitecturas de agente, in Agentes software y sistemas multi-agente: conceptos, arquitecturas y aplicaciones, Madrid, Spain: Prentice Hall, 2005.

[9] Anthropic, “Introducing the Model Context Protocol,” Anthropic Newsroom, Dec. 4, 2023. [Online]. Disponible: https://www.anthropic.com/news/model-context-protocol.

[10] Google Developers Blog, “A2A: A new era of agent interoperability,” Google Developers, Apr. 16, 2024. [Online]. Disponible: https://developers.googleblog.com/es/a2a-a-new-era-of-agent-interoperability/.

[11] P. Pajo, “AG-UI: Enabling User-Facing AI Agents Through a Lightweight Event-Based Protocol for Backend-Frontend Integration,” *ResearchGate*, May 2025. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/391692988_AG-UI_Enabling_User-Facing_AI_Agents_Through_a_Lightweight_Event-Based_Protocol_for_Backend-Frontend_Integration

[12] D. V. Antía, “Análisis del impacto de las medidas de distancia en técnicas de reducción de la dimensionalidad,” Univ. de A Coruña, Spain, 2023. [Online]. Disponible: http://hdl.handle.net/2183/33866.

[13] Z. Yun-tao, G. Ling, and W. Yong-cheng, “An improved TF-IDF approach for text classification,” J. Zhejiang Univ. Sci. A, vol. 6, no. 1, pp. 49–55, 2005, doi: 10.1631/jzus.2005.A0049.

[14] I. Amón and C. Jiménez, “Funciones de similitud sobre cadenas de texto: una comparación basada en la naturaleza de los datos,” in CONF-IRM Proc., vol. 58, 2010.

[15] NESMA, “Nesma on sizing,” 2018. [Online]. Disponible: https://nesma.org/wp-content/uploads/2018/05/Nesma-on-sizing-1-FPA-1.pdf.

[16] P. Lewis et al., “Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks,” in Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 33, pp. 9459–9474, 2020.

[17] T. Finin, R. Fritzson, D. McKay, and R. McEntire, “KQML as an agent communication language,” in Proc. 3rd Int. Conf. Inf. Knowl. Manage., 1994, pp. 456–463.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Preparación de corpus y evaluación de algoritmos de similitud: herramientas de apoyo para el análisis de textos

*Marina Cardenas, Julio Castillo, Nicolás Hernández*
*{ing.marinacardenas, dr.jotacastillo, damiannicolas05}@gmail.com*
*Laboratorio de Investigación de Software*
*Dpto. Ingeniería en Sistemas de Información*
*Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional*

## Resumen

*En el ámbito de la lingüística computacional y el análisis de textos, la disponibilidad de material de entrenamiento de alta calidad es un factor crítico para el éxito de los sistemas basados en aprendizaje automático. La creación de corpus anotados para estos fines es una labor intensiva y artesanal que presenta desafíos significativos. Este artículo describe las herramientas desarrolladas en el contexto de un proyecto de investigación, el cual aborda la problemática de la escasez de material de entrenamiento para el análisis de textos estructurados y no estructurados. Se detallan tres herramientas principales: el Programa de Mapeo de Datos (PMD), el Banco de Prueba de Algoritmos de Semejanza (BPAS) y el Sistema de Detección de Similitudes (SDS). El PMD simplifica la preparación de datos a partir de diversas fuentes como código fuente y documentos de texto. El BPAS utiliza el método de jerarquía analítica (AHP) para una evaluación multicriterio de los algoritmos de similitud, seleccionando el algoritmo óptimo en base a criterios definidos por el usuario. Finalmente, el SDS facilita la detección de reutilización y plagio de código fuente. Estos desarrollos no solo simplifican el flujo de trabajo de los investigadores, sino que también establecen un marco metodológico para el desarrollo y validación de sistemas de análisis de texto.*

*El producto de la aplicación de estas herramientas puede ser utilizado en aplicaciones de traducción automática, implicación de textos, detección de clones de código fuente, detección de plagio, entre otras.*

***Palabras Clave:*** *aprendizaje automático, AHP, análisis de texto, extracción de información, corpus, machine learning, redes neuronales artificiales, texto estructurado, texto no estructurado.*

## 1. Introducción

En la era de la inteligencia artificial, el análisis de texto se ha convertido en una disciplina fundamental con aplicaciones que van desde la minería de datos en grandes volúmenes de información hasta la detección de plagio académico y el análisis de sentimientos en redes sociales. Sin embargo, un cuello de botella persistente en el desarrollo de modelos de aprendizaje supervisado es la creación de material de entrenamiento de alta calidad, conocido como corpus, una tarea que puede ser manual, intensiva y propensa a errores [1]. En respuesta a esta problemática, se ha concebido y desarrollado un conjunto de herramientas de software dentro del proyecto de investigación denominado “Modelo para el procesamiento de textos estructurados Fase 2” (cód. SIECACO0008518). Este proyecto se enmarca en las líneas de investigación del Grupo de Aprendizaje Automático, Lenguajes y Autómatas (GA2LA) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC), y tiene como propósito principal el desarrollo de herramientas especializadas para el análisis textual de diversas fuentes.

Este artículo tiene como objetivo principal presentar y describir en las tres herramientas de software desarrolladas para el estudio e investigación sobre análisis de texto estructurado y el área de minería de datos: el Programa de Mapeo de Datos (PMD), el Banco de Prueba de Algoritmos de Semejanza (BPAS) y el Sistema de Detección de Similitudes (SDS). Se proporcionará una descripción de su arquitectura y funcionalidad, y se contextualizará su diseño y propósito dentro del panorama más amplio de las soluciones existentes en la industria y la academia.

Un corpus, en el contexto de la lingüística computacional, se define como una colección estructurada de textos utilizada para entrenar, probar y evaluar modelos de procesamiento del lenguaje natural (PLN). La calidad y la especificidad de un corpus son determinantes para el rendimiento de un modelo en un dominio particular, ya sea

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en el ámbito médico, legal o de la programación. No obstante, la creación de un corpus de alta calidad requiere una labor de clasificación, anotado y selección que, cuando se realiza manualmente, es intensiva, artesanal y desafiante para los anotadores humanos. Para abordar este desafío,se presenta un marco semiautomático que no se limita a la anotación de datos preexistentes, sino que se centra en la preparación de material de entrenamiento a partir de fuentes estructuradas y no estructuradas, incluyendo archivos de código fuente, Word, PDF y TXT.

La primera herramienta desarrollada se denomina Programa de Mapeo de Datos (PMD), que tiene como objetivo permitir la manipulación y normalización de la información de diferentes orígenes de datos y almacenarlos en una estructura estándar en una base de datos relacional SQL Server.

El proceso de Extracción, Transformación y Carga (ETL) es un pilar fundamental en la preparación de datos para el análisis. Consiste en extraer datos de diversas fuentes, transformarlos para que cumplan con los estándares de calidad y, finalmente, cargarlos en un sistema de destino. El PMD cumple esta función esencial dentro del proyecto, actuando como un componente de ETL diseñado para la manipulación y el análisis de la información textual. Ha sido desarrollado en C# para una versión de escritorio y también como una aplicación web, no busca la escala masiva ni la generalidad de soluciones comerciales. Su valor radica precisamente en su diseño como una herramienta de investigación ad-hoc y prioriza el control granular y la capacidad de adaptación al contexto específico del grupo GAALA, lo que le permite a los investigadores la libertad de normalizar y estandarizar datos para estudios de caso muy específicos. Mientras que las soluciones comerciales están optimizadas para la eficiencia y la escalabilidad a nivel empresarial, el PMD es un ejemplo de cómo la academia crea herramientas especializadas que abordan problemas de específicos, ofreciendo una precisión y un control metodológico que no siempre están disponibles en las plataformas de "caja negra" del mercado.

La segunda herramienta desarrollada es un Banco de Prueba de Algoritmos de Semejanza (BPAS) que consiste en una aplicación de consola que utiliza el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para realizar comparaciones entre diversos algoritmos que realizan evaluación de la similitud de textos estructurados, aunque también pueden aplicarse sobre textos no estructurados. El objetivo de esta herramienta es el de evaluar la capacidad de la detección de similitudes de código de programas en los diferentes niveles establecidos para el método AHP. Sus características principales incluyen la capacidad de integrar la opinión de un equipo multidisciplinario, el uso de información tanto cualitativa como cuantitativa y la generación de un ranking numérico de las alternativas evaluadas.

La última herramienta mencionada (el Sistema de Detección de Similitudes- SDS), permite realizar el procesamiento de archivo de código fuente con diferentes algoritmos que permitan la detección de prácticas de reutilización para determinar aquellos con mayor similitud.

Las herramientas que se presentan en este artículo han sido construidas para abordar el problema del material de entrenamiento en los algoritmos basados en aprendizaje por computadora, disminuir el trabajo manual de clasificación, anotado y selección que suele ser necesario cuando se trabaja con orígenes de datos basados en texto, y brindar soporte en las prácticas de detección de código fuentes similares con distintos enfoques, desde detección de clones de código fuente que afectan al ciclo de vida y mantenimiento del software hasta detección de prácticas de plagio de software.

Los materiales de entrenamiento producidos por estas herramientas pueden ser utilizados para abordar problemas de extracción de información y minería de datos en textos estructurados [2, 3], tales como búsquedas de implicaciones en textos [4], implicación textual [5, 6], extracción de información [7, 8] o minería de datos [9].

En particular, estas herramientas fueron diseñadas para ser empleadas cuando se utilicen técnicas de aprendizaje supervisado de análisis de textos.

La generación y análisis del material del entrenamiento para un sistema de análisis de texto estructurado es una tarea muy ardua y artesanal para ser realizada por un humano, lo cual motiva la construcción de programas que permita ayudar a los anotadores humanos en la construcción (semiautomática) de corpus [10, 11].

El artículo se estructura de la siguiente manera, la Sección 2 describe el Programa de Mapeo de Datos, la Sección 3 describe la herramienta de Banco de Pruebas de Algoritmos de Semejanza, mientras que la Sección 4 presenta el Sistema de Detección de Similitudes. Finalmente, en la Sección 5, se resumen las conclusiones alcanzadas a partir del desarrollo de estas herramientas.

## 2. Programa de Mapeo de Datos

El Programa de Mapeo de Datos (PMD) permite realizar un análisis exploratorio y una primera aproximación al análisis de textos sobre textos estructurados y tiene como objetivo realizar la manipulación de diferentes fuentes y orígenes de datos, y almacenarlos en una estructura estándar en una base de datos estructurada que trabaja sobre SQL Server.

Esta aplicación permite tomar datos de orígenes de datos estructurados y registrarlos en una nueva base de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



datos que se encuentra normalizada para facilitar la búsqueda y análisis posterior.

El PMD está desarrollado tanto en versión de aplicación de escritorio (en el lenguaje de programación C#), como en versión web. Ambas versiones permiten almacenar los datos normalizados en una estructura estándar de una base de datos SQL Server facilitando la búsqueda y análisis de textos. El enfoque de arquitectura dual es una estrategia que equilibra el control local para el desarrollo individual con la accesibilidad y la colaboración necesarias en un entorno de investigación académica.

En la Figura 1 se puede visualizar la pantalla donde el usuario establece la conexión con las bases de datos involucradas en el proceso de mapeo / transformación de datos desde un origen hacia un destino.

En la Figura 2 se presenta la interfaz principal del sistema que ilustra cómo el mapeo es realizado graficamente y de manera interactiva, facilitando el proceso de mapeo de datos de una manera visual e intuitiva.

El objetivo de este programa es el de realizar un repositorio de información estructurada que facilite y permita su adecuado procesamiento para la utilización de técnicas de mineria de datos.




**Figura 1. Pantalla de Conexión con Bases de Datos Origen-Destino**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**Figura 2. Interfaz Principal de Mapeo de Datos**

De esta manera, esta herramienta permite acceder a diferentes bases de datos (y orígenes de datos) y concentra la información en un repositorio común. Este repositorio es en sí mismo, una base de datos relacional normalizada sobre la cual se pueden efectuar consultas. Dado que se almacena información de diferentes fuentes, es necesario realizar una actualización cuando la información cambia en los repositorios originales. Así, la manera de funcionar de este repositorio permite posteriormente, su consulta, análisis y exploración de manera ágil y eficiente para el entorno de investigación.

En la versión actual, existen algunas restricciones en cuanto al mapeo del origen de datos. Entre ellas destacamos:

- Sólo es posible trabajar con hasta ocho tablas de origen de datos.
- Sólo es posible mapear una vez cada tabla de la base de datos de origen.
- Sólo es posible conectar hasta 8 campos por cada tabla de origen.
- Sólo puede estar presente una vez cada campo de una determinada tabla de origen.

En todos los casos, la aplicación informa con mensajes cuando se exceden estas situaciones al usuario mediante un mensaje.

## 3. Banco de Pruebas de Algoritmos de Semejanza

La herramienta que se presenta en esta sección se denomina Banco de Pruebas de Algoritmos de Semejanza (BPAS) y es un programa que se basa en el método de Jerarquía Analítica, también conocido como AHP, para informar el programa óptimo en base a criterios definidos por el usuario.

El método AHP [13, 14] es utilizado cuando se deben tomar decisiones en escenarios complejos [15, 16, 17] y provee una manera de encontrar la solución óptima al problema de seleccionar una opción entre un conjunto de opciones posibles.

La selección de la opción más óptima estará regida por los factores que influyen en el proceso de toma de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



decisiones, como así también por el peso que se les asigne a estos factores.

Los pasos involucrados en el algoritmo AHP se mencionan a continuación, para lo cual es necesario crear una jerarquía en forma de árbol donde los nodos se crean de la siguiente manera:

1. Se asigna al primer nodo (raíz) una prioridad 1, esto indica que constituye el objetivo del procedimiento.
2. Se crean N-criterios, donde cada criterio corresponde a un nodo en el nivel 2 del árbol. A cada nodo se le asigna un nombre y prioridad. La sumatoria de la prioridad de todos los criterios debe ser igual a 1.
3. Cada criterio, puede contener k-sub-criterios, donde se cumple que la sumatoria del valor local de todos los subcriterios es igual al valor del criterio. Cada nodo de los subcriterios debe tener un nombre y un valor de prioridad.
4. Se crean alternativas (u opciones) que se conectan a todos los criterios (o subcriterios si los hubiere).

El programa BPAS permite determinar cuál algoritmo o programa de detección de similitud es el óptimo en base a la elección del objetivo que, en este caso, es la "selección de un algoritmo de similitud".

Seguidamente, se establecen los criterios que serán de importancia para la selección del objetivo. Los criterios que se van a utilizar para puntuar a las alternativas han sido elegidos en forma conjunta por los integrantes del proyecto de investigación y son los siguientes:

- El criterio más relevante lo constituyen los lenguajes (códigos fuente) sobre los que el algoritmo puede detectar similitudes. Hay algoritmos que solo funcionan sobre un lenguaje en particular, mientras que otros funcionan en un amplio rango de programas.
- Facilidad de uso del algoritmo o del programa, se refiere a la parametrización del algoritmo, y a la configuración previa necesaria que puede requerir un algoritmo para funcionar (como puede ser la instalación de determinadas bibliotecas de software).
- La rapidez o tiempo de ejecución requerido por el algoritmo para completar la tarea de ponderación de la similitud.
- La plataforma desde la cual se ejecuta el algoritmo (se ejecuta localmente o se utiliza un algoritmo de clasificación distribuido).
- Tipo de interfaz (línea de comandos o una interfaz gráfica de usuario). Pondera si un algoritmo cuenta con un programa que lo implemente, ya sea de tipo consola o de interfaz gráfica.
- La licencia se refiere a la libre disponibilidad del programa que implemente el algoritmo.

Luego se eligen las alternativas, que en este caso son los diferentes algoritmos de detección similitudes, en particular nos centraremos en el estudio de código fuente escritos en diversos lenguajes de programación, tales como Java, C, C#, Perl y Python.

La Figura 3 presenta la jerarquía que implementa el programa BPAS y la asignación propuesta de los pesos para cada uno de los criterios definidos anteriormente para la selección del objetivo.

De cada uno de ellos, expertos asignaron un puntaje diferente en base a sus conocimientos y experiencia en cuanto a herramientas de detección de similitudes en código fuente.

El programa BPAS fue inicialmente desarrollado con una interfaz en modo texto, la cual permitió llevar a cabo las pruebas preliminares. Posteriormente, se avanzó en la construcción de una interfaz gráfica de usuario que facilitó una mayor parametrización de la aplicación y el agregado dinámico de criterios y alternativas. De esta manera, se alcanzó el objetivo de disponer de una herramienta flexible para la comparación entre distintos algoritmos, tales como Winnowing [18] o el implementado en el programa Tester SIM [19].

Asimismo, se realizaron experimentaciones con el banco de pruebas definido, sometiendo a comparación diversos programas y algoritmos orientados a la evaluación de similitudes en textos estructurados, entre los cuales se incluyeron JPLAG [20], Anti-Plagiarims [21], Marble [22], Plaggie [23], Tester SIM [19, 24] y Simian [25]. Los resultados obtenidos fueron evaluados por expertos, quienes asignaron puntuaciones diferenciadas a cada herramienta en función de su conocimiento y experiencia en detección de similitudes en código fuente.

A modo de ejemplo, a continuación se describe la ponderación realizada sobre el criterio denominado "Rapidez" para cada una de las alternativas a evaluar.

- Jplag: Se asigna una prioridad local de 0.16.
- Anti-plagiarism: Se asigna una prioridad local de 0.10.
- Marble: Se asigna una prioridad local de 0.57.
- Plaggie: Se asigna una prioridad local de 0.
- Tester SIM: Se asigna una prioridad local de 0.1.
- Simian: Se asigna una prioridad local de 0.39.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La asignación de los valores de las prioridades fue realizada por consenso entre los investigadores del proyecto.

De manera análoga, se procedió para la asignación de los restantes criterios a cada una de las alternativas consideradas.

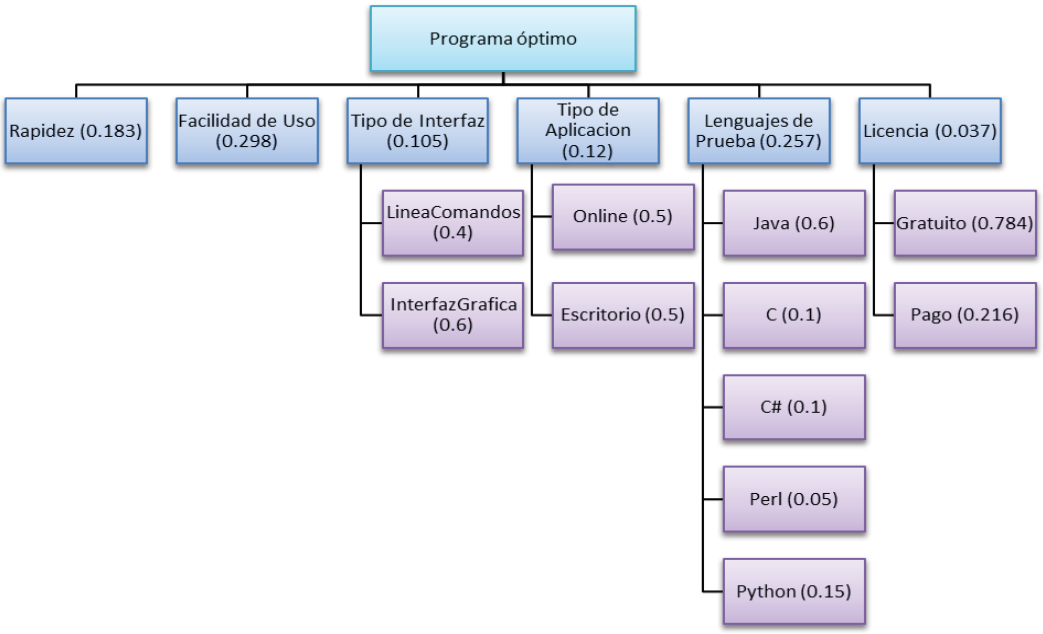



**Figura 3. Jerarquía Analítica del programa BPAS**

De lo anterior expuesto, los resultados que se obtuvieron aplicando el método de jerarquía analítica (AHP) fueron:

- Alternativa 1: Jplag con un valor de 0,2216.
- Alternativa 2: Anti-plagiarism con un valor de 0,2672.
- Alternativa 3: Marble con un valor de 0,1742.
- Alternativa 4: Plaggie con un valor de 0,0557.
- Alternativa 5: Tester SIM con un valor de 0,1040.
- Alternativa 6: Simian con un valor de 0,2028.

De la aplicación del método AHP surge que la Alternativa 2 (Anti-plagiarism) es la mejor opción las demás software y algoritmos evaluados, en base al peso que se ha asignado a cada uno de los criterios para cada una de las 6 alternativas.

La elección Alternativa 2 por parte del método AHP se basa principalmente en la cantidad de lenguajes de prueba que acepta, y a que posee una licencia del tipo GPLv2, lo cual facilita el acceso y pruebas.

Actualmente están bajo estudios diferentes algoritmos de detección de similitud, por lo cual los resultados obtenidos con este banco de prueba son todavía un trabajo en progreso.

## 4. Sistema de detección de similitudes (SDS)

Este sistema tiene por objetivo determinar las similitudes de archivos de código fuente de lenguajes como Java, C++, C y Python, entre otros, trabajándolos a diferentes niveles de granularidad como módulos, funciones y líneas de código [25]. Esta herramienta ha sido desarrollada con orientación web, para que su disponibilidad sea mayor, por lo que su interfaz se creó mediante la utilización de esas tecnologías tal como se muestra en la Figura 4.

El SDS permite cargar los archivos necesarios para trabajar en la detección de similitudes, en base a los algoritmos implementados por herramientas disponibles

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en la Web, tales como Simian, SimTest, Sherlock[26] y Jplag. Asimismo permite la configuración de los parámetros requeridos por cada algoritmo para poder realizar el análisis comparativo, como así también para almacenar el resultado en un nuevo archivo y generar reportes con las salidas de las ejecuciones realizadas, que permitirán al decisor identificar rápidamente un subconjunto de archivos que presenten gran similitud entre sí, dentro de un conjunto grande de archivos.

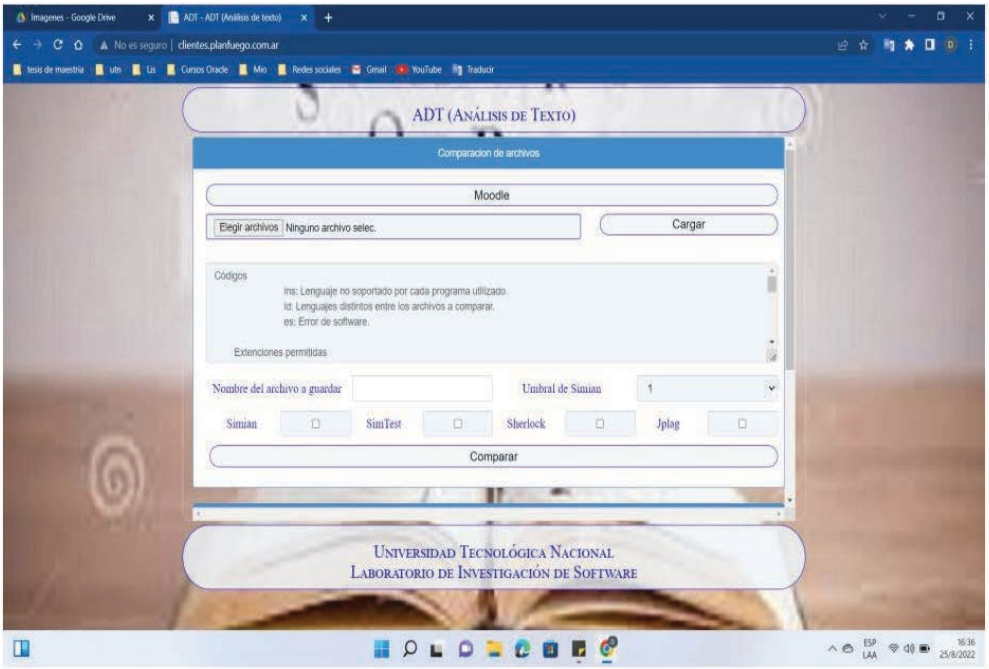



**Figura 4. Interfaz Principal del SDS**

Cabe destacar que también se están realizando pruebas y adaptaciones del sistema para trabajar con otros algoritmos, ya sean desarrollados por otros grupos de investigación, como así también propios. Además se desarrolló un complemento que permite realizar la descarga de todos los archivos que se comparan desde Moodle, lo cual se muestra en la Figura 5.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



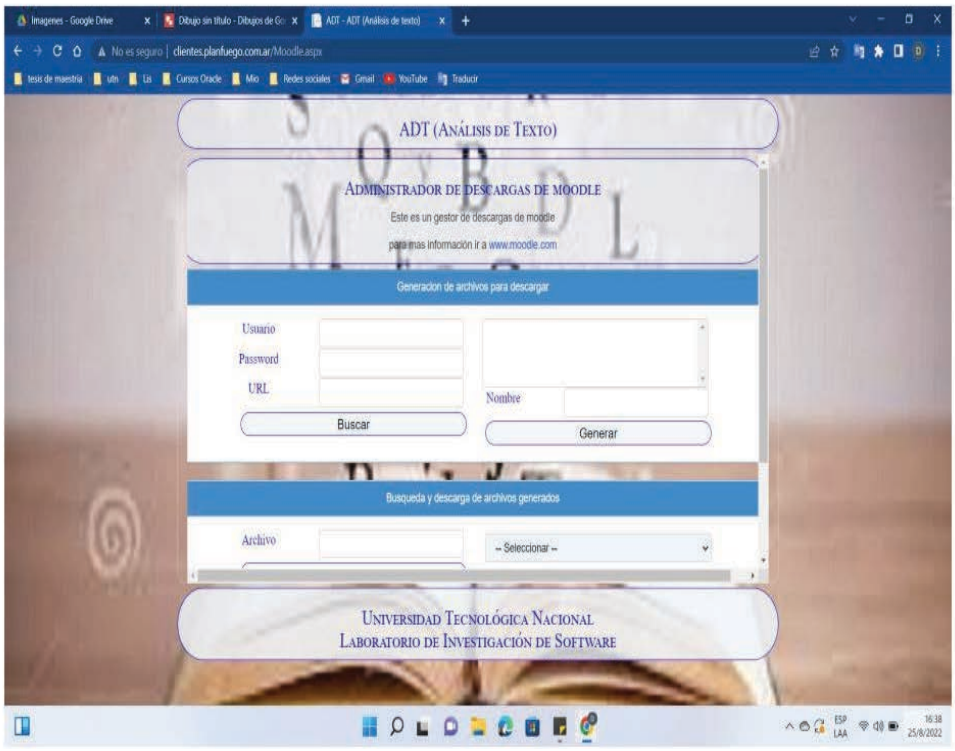



**Figura 5. Complemento del SDS para descarga de archivos de Moodle.**

## 5. Conclusiones

El presente trabajo presentó un conjunto de herramientas diseñadas para dar soporte a la generación de material de entrenamiento y al análisis de textos estructurados y no estructurados, respondiendo a una problemática recurrente en el ámbito de la lingüística computacional: la dificultad de construir corpus de calidad de manera eficiente y reproducible.

En primer lugar, el Programa de Mapeo de Datos (PMD) demostró su utilidad como un módulo de preparación y normalización de información proveniente de diversas fuentes, integrando los datos en un repositorio relacional estandarizado. Esta herramienta permitió simplificar procesos de extracción, transformación y carga (ETL), aportando un marco flexible y ad-hoc para la investigación académica, donde la adaptabilidad y el control granular resultan esenciales.

En segundo lugar, el Banco de Pruebas de Algoritmos de Semejanza (BPAS) constituyó un aporte metodológico relevante, al aplicar el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para comparar distintos algoritmos de similitud. La incorporación de criterios cualitativos y cuantitativos, así como la participación de expertos en la asignación de pesos, permitió seleccionar algoritmos en función de objetivos específicos, mostrando que la herramienta puede asistir en la elección informada de soluciones según contexto, lenguajes de programación y restricciones de implementación.

Finalmente, el Sistema de Detección de Similitudes (SDS) brindó un entorno orientado a la web para la detección de similitudes en código fuente, integrando diferentes algoritmos y facilitando la configuración de parámetros y la generación de reportes. Este desarrollo evidenció su potencial en la identificación de prácticas de reutilización y plagio, aportando un soporte directo a actividades académicas y de ingeniería de software.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Los resultados obtenidos demuestran que estas herramientas no solo reducen el esfuerzo manual requerido en la construcción de corpus y en la evaluación de algoritmos de similitud, sino que también establecen un marco metodológico replicable para futuras investigaciones en procesamiento de lenguaje natural, minería de datos y detección de clones de código.

No obstante, se identifican algunas limitaciones actuales: restricciones en el número de tablas y campos soportados en el PMD, dependencia del juicio experto en el BPAS, que puede introducir sesgos en la ponderación de criterios, y necesidad de ampliar el conjunto de algoritmos soportados por el SDS para abarcar nuevos enfoques emergentes.

En conjunto, los desarrollos aquí presentados sientan las bases de un ecosistema de soporte a la investigación en análisis de textos, que contribuye a la construcción de corpus de entrenamiento, a la evaluación sistemática de algoritmos de similitud y a la detección de prácticas de reutilización de software. Este aporte no solo fortalece el trabajo académico, sino que también abre nuevas posibilidades de aplicación en la industria y en la educación superior.

## 6. Referencias

[1] P. Joshi, S. Santy, A. Budhiraja, K. Bali, and M. Choudhury, "The state and fate of linguistic diversity and inclusion in the NLP world," in Proc. 58th Annu. Meeting Assoc. Comput. Linguistics, 2020, pp. 6282–6293, doi: 10.18653/v1/2020.acl-main.560.

[2] J. Klavans and P. Resnik, The Balancing Act: Combining Symbolic and Statistical Approaches to Language, Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

[3] C. Manning and H. Schütze, Foundations of Statistical Natural Language Processing, Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

[4] J. Castillo, "Sagan in TAC2009: Using Support Vector Machines in Recognizing Textual Entailment and TE Search Pilot Task," in Proc. Text Analysis Conference (TAC 2009), NIST, Gaithersburg, MD, USA, 2009.

[5] J. Castillo and M. Cárdenas, "Using sentence semantic similarity based on WordNet in recognizing textual entailment," in Proc. 12th Ibero-American Conf. Artif. Intell. (IBERAMIA 2010), Lecture Notes in Comput. Sci., vol. 6433, Springer, 2010, pp. 366–375.

[6] J. Castillo, "Using machine translation systems to expand a corpus in textual entailment," in Proc. Int. Conf. Eng. Technol. Appl. Linguistics (ICETAL 2010), Lecture Notes in Comput. Sci., vol. 6233, Springer, 2010, pp. 97–102.

[7] R. Feldman and H. Hirsh, "Exploiting background information in knowledge discovery from text," J. Intell. Inf. Syst., vol. 4, no. 1, pp. 29–49, 1996.

[8] D. Lewis, "Evaluating and optimizing autonomous text classification systems," in Proc. 18th ACM Int. Conf. Res. Develop. Inf. Retrieval (SIGIR-95), Seattle, WA, USA, 1995, pp. 246–254.

[9] M. Craven and J. Shavlik, "Using neural networks for data mining," Future Gener. Comput. Syst., vol. 13, pp. 211–229, 1997.

[10] J. Castillo and M. Cárdenas, "Creación de corpus para aplicaciones de análisis de texto no estructurado," in Proc. Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CONAIISI 2015), Buenos Aires, Argentina, 2015.

[11] T. Stefan and A. Stefanowitsch, "Corpora in cognitive linguistics," in Corpus-Based Approaches to Syntax and Lexis, Berlin, Germany: Mouton de Gruyter, 2006, pp. 117–145.

[12] F. Codd, S. Codd, and C. Salley, "Providing OLAP (Online Analytical Processing) to user-analysts: An IT mandate," Tech. Rep., San Jose, CA: Codd EF & Associates, 1993.

[13] N. Bhushan and R. Kanwal, Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process, London, U.K.: Springer-Verlag, 2004.

[14] T. Saaty and K. Peniwati, Group Decision Making: Drawing Out and Reconciling Differences, Pittsburgh, PA, USA: RWS Publications, 2008.

[15] D. Hong, W. Zhao, G. Wang, and X. Feng, "Test-sheet composition using analytic hierarchy process and hybrid metaheuristic algorithm TS/BBO," Math. Problems Eng., vol. 2012, Art. ID 712752, 2012, pp. 1–22.

[16] J. Zhang, J. Yang, X. Ma, and J. Gong, "Research and application on improved group decision making AHP algorithm," Appl. Mech. Mater., vols. 336–338, pp. 2179–2183, 2013.

[17] M. Aktas and M. Kapdan, "Implementation of analytical hierarchy process in detecting structural code clones," in Proc. Int. Conf. Softw. Eng., 2017, pp. 652–664.

[18] S. Schleimer, D. Wilkerson, and A. Aiken, "Winnowing: Local algorithm for document fingerprinting," in Proc. 2003 ACM SIGMOD Int. Conf. Manage. Data, San Diego, CA, USA, 2003, pp. 76–85.

[19] D. Grune, "The software and text similarity tester SIM," [Online]. Disponible: http://www.cs.vu.nl/~dick/sim.html, 1999.

[20] L. Prechelt and G. Malpohl, "Finding plagiarisms among a set of programs with JPlag," J. Univ. Comput. Sci., vol. 9, no. 11, pp. 1018–1025, 2003.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[21] A. Mikhaylovskiy and Y. Mikhaylovskiy, "Anti-plagiarism software," [Online]. Disponible: https://sourceforge.net/projects/antiplagiarismc/support, 2006.

[22] J. Hage, "Programme plagiarism detection with Marble," Tech. Rep. UU-CS-2006-062, Dept. Inf. Comput. Sci., Utrecht Univ., Utrecht, Netherlands, 2006.

[23] A. Ahtiainen, S. Surakka, and M. Rahikainen, "Plaggie: GNU-licensed source code plagiarism detection engine for Java exercises," in Proc. 6th Baltic Sea Conf. Comput. Educ. Res. (Koli Calling 2006), ACM, New York, NY, USA, pp. 141–142.

[24] D. Gitchell and N. Tran, "Sim: A utility for detecting similarity in computer programs," in Proc. Tech. Symp. Comput. Sci. Educ., 1999, pp. 266–270.

[25] S. Harris, "Simian – Similarity analyser," version 2.4, 2015. [Online]. Disponible: http://www.harukizaemon.com/simian/.

[26] H. Hatta, M. Rasyid, and M. Azhari, "Detecting plagiarism journal with Sherlock algorithm," in Proc. Bali Int. Seminar Sci. Technol., Bali, Indonesia, Sep. 2–4, 2014.

*Capítulo*

# 5

# *Trabajo de cátedra de 1er a 3er nivel*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aplicación Inteligente de Apoyo Emocional por Voz

**Paulluk, Lorena Emilse**
***UCASAL, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*El estado emocional constituye una dimensión clave del bienestar general, aunque las señales iniciales de una crisis mental pueden no ser reconocidas fácilmente, especialmente en contextos habituales como el hogar o el ámbito laboral. Frente a esta problemática, este proyecto propone una aplicación móvil que utiliza inteligencia artificial (IA) para analizar grabaciones de voz diarias, con el objetivo de identificar patrones vocales y lingüísticos que puedan anticipar episodios de descompensación emocional o brotes psicóticos.*
*La IA se aplicará al procesamiento de variables como el tono, la velocidad del habla, la coherencia discursiva y el contenido semántico. A partir de estas señales, el sistema generará alertas tempranas que puedan derivar en una intervención profesional oportuna, mejorando así las posibilidades de prevención y cuidado.*
*El propósito principal es ofrecer una herramienta accesible y proactiva, útil tanto para personas sin antecedentes clínicos como para aquellas bajo tratamiento o seguimiento. La aplicación no solo busca acompañar de manera preventiva, sino también integrarse como un recurso complementario en estrategias de salud mental. Todo el sistema funcionará bajo normas estrictas de protección de datos personales y se activará únicamente con consentimiento informado, asegurando la privacidad, la seguridad y el respeto por la autonomía del usuario. Siendo un tema muy sensible, la seguridad del sistema se acompañará de un riguroso marco ético para garantizar la protección de la privacidad y el bienestar del usuario.*

**Palabras clave**
bienestar emocional, IA, aprendizaje automático, detección temprana, crisis, salud mental, análisis de voz, brote psicótico, aplicación móvil, intervención oportuna, privacidad de datos.

## Introducción

El bienestar emocional es una dimensión fundamental de la salud integral, pero muchas veces los signos tempranos de una crisis de salud mental pasan desapercibidos, especialmente en contextos cotidianos como el trabajo o el hogar [1] [2] [3]. Tanto en personas sin antecedentes como en aquellas con un diagnóstico previo, un brote psicótico o una descompensación emocional puede manifestarse a través de cambios notables en el discurso, el estado de ánimo y el comportamiento, y estas señales pueden anticipar un episodio crítico [4].

La voz, como canal expresivo, constituye un indicador sensible del estado emocional y mental: variaciones en el tono, la velocidad del habla, la coherencia lingüística y el contenido del discurso pueden reflejar alteraciones significativas en la salud psicológica [1] [5]. En este contexto, se propone una aplicación móvil basada en inteligencia artificial (en adelante, IA) que, a partir de parámetros definidos y grabaciones de voz personales y cotidianas, sea capaz de detectar señales tempranas de alerta [6] [7]. El sistema empleará modelos de IA entrenados específicamente para reconocer patrones lingüísticos y rasgos vocales asociados con síntomas de descompensaciones emocionales o episodios psicóticos, utilizando redes neuronales profundas (CNN, LSTM), análisis semántico y lógica difusa [1] [5].

A partir de este análisis, se generarán alertas que faciliten una intervención oportuna y reduzcan el riesgo de comportamientos autolesivos o suicidas [8]. El objetivo principal es identificar, tanto en entornos laborales como familiares, posibles episodios en personas sin antecedentes o con diagnóstico previo, promoviendo una detección precoz y una intervención profesional adecuada.

Consciente de la sensibilidad de la información tratada, la aplicación garantizará altos estándares de privacidad y seguridad de los datos, cumpliendo con las normativas vigentes y aplicando principios éticos rigurosos [3]. Además, su uso estará sujeto al consentimiento informado de cada persona, quien podrá definir los parámetros de activación, almacenamiento y notificación de alertas, asegurando un enfoque respetuoso de la autonomía del usuario.

## Propuesta de Desarrollo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esta sección resume la arquitectura funcional del sistema (captura de voz → IA → lógica difusa → sistema experto → alertas), indicando herramientas, datasets y flujo de procesamiento.

## 1. Metodología de Recopilación de Datos usando IA sobre Análisis de "Voz Emocional"

La propuesta de metodologías de inteligencia artificial aplicadas a la detección de señales tempranas de crisis de salud mental a través del análisis de voz humana se basa en técnicas avanzadas de procesamiento de lenguaje natural, aprendizaje automático y análisis acústico, que permiten identificar patrones de habla y contenido que puedan reflejar alteraciones emocionales o mentales.[1] [9]

Las siguientes subsecciones detallan las técnicas de IA específicas utilizadas para el análisis del habla y la detección de alteraciones emocionales o psicóticas.

### 1.1. Análisis de Sentimiento

Utilizando algoritmos de procesamiento de lenguaje natural (NLP), el sistema analiza el contenido semántico de las grabaciones de voz en tiempo real para determinar el sentimiento predominante. A medida que el usuario se expresa, el sistema transcribe automáticamente su discurso y lo procesa mediante modelos como BERT (BETO en español), RoBERTa o DistilBERT, adaptados al idioma español. Esto permite clasificar las expresiones en categorías emocionales como tristeza, angustia, ansiedad, enojo o desesperanza, y detectar desviaciones del tono emocional habitual que podrían indicar una posible descompensación. [10]

### 1.2. Reconocimiento de Patrones Acústicos

Algoritmos de procesamiento de audio y aprendizaje profundo, como los basados en redes neuronales convolucionales (CNN) o LSTM (Fig 1, muestra la estructura de la red convolucional propuesta para análisis de voz), permiten analizar características vocales como la entonación, el timbre, la velocidad del habla, las pausas y la coherencia fonética.

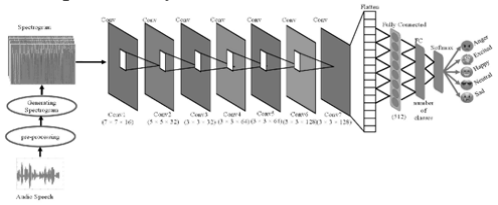


Fig.1. Arquitectura general de la red CNN para reconocimiento emocional [9]

Estas variables pueden verse alteradas en presencia de trastornos emocionales. Herramientas como OpenSMILE, Praat, y bibliotecas como Librosa permiten extraer características relevantes para ser procesadas por modelos de IA (Fig 2, esquema del flujo clásico de procesamiento de emociones en el habla).

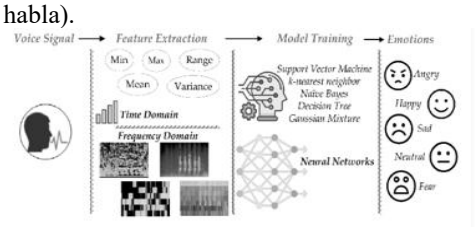



Fig 2: Flujo convencional del proceso SER [11]

### 1.3. Extracción de Entidades y Tópicos del Discurso

Además del análisis emocional, el sistema de inteligencia artificial puede realizar reconocimiento de entidades nombradas (Named Entity Recognition), identificando automáticamente menciones a personas, lugares, eventos o conceptos relevantes en el discurso del usuario. Estas entidades pueden ser genéricas (aprendidas por el modelo durante su entrenamiento) o personalizadas (definidas específicamente según el contexto de aplicación). Esta capacidad permite detectar patrones cognitivos significativos, como preocupaciones recurrentes, desorganización del pensamiento o fijaciones negativas, lo que contribuye a contextualizar mejor el estado emocional del hablante y generar alertas más precisas. [12]

### 1.4. Análisis de Conducta Vocal Longitudinal

[1] Varios trabajos han demostrado que la combinación de análisis acústico del habla (tono, timbre, velocidad, pausas) y procesamiento de texto mediante NLP permite detectar signos tempranos de alteraciones emocionales. Por ejemplo, Chlasta et al. (2019) detectaron depresión con ~77 % de precisión usando CNN en espectrogramas, mientras que Ghadiri et al. (2022) integraron características del audio y el texto para mejorar la detección de salud mental. Por otro lado, un modelo multimodal aplicado a redes sociales alcanzó 89 % de exactitud y advirtió crisis con una antelación promedio de 7 días arxiv.org. Además, revisiones recientes destacan el valor de estas metodologías en contextos clínicos y de intervención temprana

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Mediante el monitoreo continuado de las grabaciones en tiempo real, se pueden detectar cambios progresivos en el comportamiento vocal del usuario. Los algoritmos de aprendizaje automático comparan cada grabación con un perfil vocal previamente construido y adaptado dinámicamente, lo que permite identificar desviaciones significativas respecto al patrón de habla habitual. Este enfoque de análisis longitudinal y personalizado mejora notablemente la capacidad del sistema para emitir alertas tempranas ante posibles descompensaciones emocionales. [13]

### 1.5. Detección de Anomalías en el Lenguaje y la Voz

Los modelos no supervisados, como los basados en Autoencoders (Fig.3, representa la red autoencoder usada para identificar patrones atípicos) o Isolation Forest, permiten detectar patrones atípicos en el uso del lenguaje o en la prosodia. Los autoencoders se entrenan con grabaciones “normales” del usuario para luego identificar incoherencias o disonancias emocionales en tiempo real cuando el error de reconstrucción supera un umbral. Por su parte, Isolation Forest detecta anomalías considerando qué muestras se aíslan rápidamente en un bosque de árboles, útil para encontrar lenguaje confuso o ideas desorganizadas sin supervisión. [14]

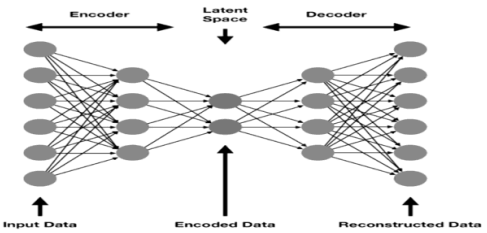


Fig 3. Autoencoder para anomalías. [14].

### 1.6. Arquitectura del Sistema y Componentes Funcionales

La solución tecnológica propuesta se estructura en tres componentes centrales - red neuronal recurrente (LSTM o GRU), una capa de lógica difusa y un sistema experto basado en reglas - que trabajan de manera integrada para procesar grabaciones de voz y generar alertas o recomendaciones en función del estado emocional detectado. Además, el esquema de arquitectura general detalla el flujo de información en tiempo real:

#### 1.6.a)- Red Neuronal Recurrente (RNN – LSTM o GRU)

El análisis de patrones acústicos en el habla será realizado por una red neuronal recurrente, específicamente una arquitectura basada en Long Short-Term Memory (LSTM) o Gated Recurrent Units (GRU). Estos modelos son adecuados para trabajar con datos secuenciales como el audio, ya que conservan información contextual en el tiempo. [15]

La red será entrenada con datasets públicos etiquetados por emoción, tales como RAVDESS o EmoDB, que contienen muestras vocales clasificadas en emociones como calma, alegría, miedo, enojo, tristeza, ansiedad, entre otras. A partir de estas muestras, el modelo aprenderá a identificar características vocales como el tono, el ritmo, la velocidad del habla, la intensidad y la entonación, permitiendo generar una predicción emocional para cada segmento de audio. (Fig. 4, modelo recurrente aplicado al análisis secuencial del habla).

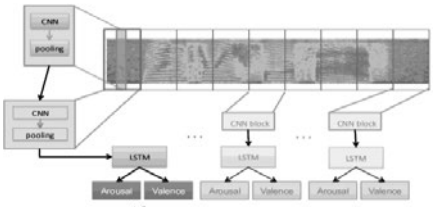


Fig 4: Arquitectura RNN-LSTM/GRU para reconocimiento de emociones [16]

#### 1.6.b)- Lógica Difusa

Para interpretar las salidas de la red neuronal de forma más humana y realista, se implementará una capa de lógica difusa, que convierte las probabilidades de las emociones detectadas en niveles graduales de afectación emocional. Por ejemplo, en lugar de emitir un resultado binario ("estresado" o "no estresado"), la lógica difusa permite describir situaciones intermedias como “leve ansiedad”, “estrés moderado” o “desborde emocional alto”. [17]

Este enfoque es más adecuado para reflejar la naturaleza continua y matizada del estado mental, mejorando la sensibilidad del sistema a los cambios sutiles y evitando falsas alarmas. (Fig. 5, flujo general del sistema SER antes de aplicar lógica difusa y Fig. 6, conversión de probabilidades en niveles graduales de afectación)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



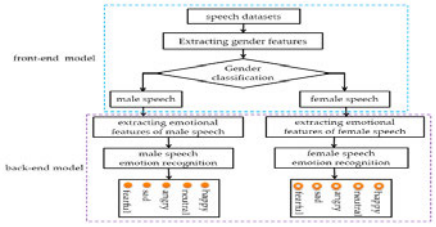
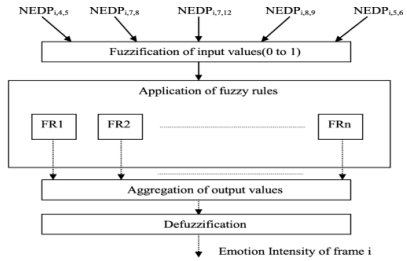



Fig. 5: Marco general SER [18]




FR1, FR2….FRn are the fuzzy rules framed for the fuzzy inference engine, $NEDP_{i,m,n}$ is the NEDP value between the LMPs m and n in the image frame i

Fig. 6: Modelo difuso de clasificación intensidad emocional [19]

### 1.6.c)- Sistema Experto

El tercer componente es un sistema experto basado en reglas (Fig. 7, diagrama de la base de conocimiento y motor de inferencia), desarrollado en colaboración con profesionales de la salud mental. Este sistema toma los resultados del análisis acústico y semántico, y los compara con una base de conocimiento predefinida para sugerir acciones específicas (Fig. 8, diagrama integrador de los módulos IA -voz, texto, lógica, experto-).

Por ejemplo: i) Si el nivel de estrés es alto + se detectan palabras clave negativas → sugerir contactar a un familiar o profesional. ii) Si se detecta tristeza persistente + aislamiento progresivo → recomendar técnicas de respiración o ejercicios de relajación. [20]

Este sistema experto permite personalizar las respuestas, aumentar la interpretabilidad de las decisiones tomadas por la IA y reforzar la confiabilidad clínica del sistema.

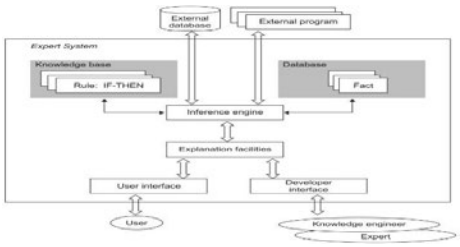



Fig 7: Estructura del sistema experto basado en reglas [21]

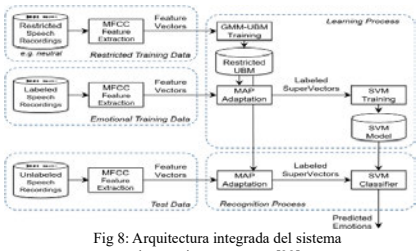



Fig 8: Arquitectura integrada del sistema de emociones por voz. [22]

### 1.6.d) Esquema de Arquitectura General

*Aplicación móvil (en Android/iOS)*
*↓ Captura de voz en tiempo real*
*↓ RNN (LSTM o GRU) → detección emocional (calma, estrés, angustia, etc.)*
*↓ Análisis semántico con NLP (contenido del discurso)*
*↓ Capa de lógica difusa → conversión a niveles emocionales*
*↓ Sistema experto (reglas clínicas y sugerencias)*
*↓ Feedback en aplicación móvil: alertas, recomendaciones, contacto de ayuda*

Este flujo permite que la aplicación no solo detecte un estado emocional preocupante, sino que también actúe como asistente preventivo, guiando al usuario hacia una acción saludable o recomendando apoyo profesional si corresponde. (Fig. 9, Flujo completo de la app: captura de voz → IA → alerta/feedback).

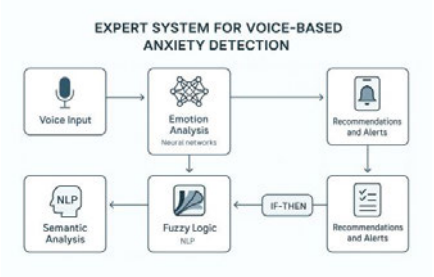



Fig 9: Esquema general de la aplicación móvil de apoyo emocional.

### 1.6.e)- Implementación Conceptual - Herramientas de IA Aplicables al Proyecto[2]

**• Lenguajes y Frameworks:**

Python (es el lenguaje de facto en IA y machine learning), TensorFlow/Keras (ampliamente usados para construir y entrenar RNNs como LSTM o GRU), scikit-fuzzy (librería de lógica difusa con excelente documentación y herramientas para definir membresías y realizar

[2] El desarrollo del sistema se basará en Python, lenguaje estándar en inteligencia artificial y aprendizaje automático, junto con TensorFlow/Keras para construir y entrenar redes neuronales recurrentes (LSTM/GRU).

La capa de lógica difusa se implementará con scikit-fuzzy, mientras que el análisis semántico del discurso se realizará mediante spaCy y NLTK, librerías líderes en procesamiento de lenguaje natural.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



defuzzificación), spaCy y NLTK (librerías líderes en NLP, ideales para análisis semántico del discurso).

• **Datasets sugeridos:** RAVDESS (voz emocional, incluye grabaciones con 7 emociones como *calm*, *happy*, *sad*, *angry*, etc., con diferentes intensidades, ideal para entrenar RNNs. Hay repositorios como *yfliao/Emotion Classification Ravdess* en GitHub con ejemplos de clasificación usando CNN/LSTM en PyTorch y Keras), DAIC-WOZ (entrevistas clínicas, ofrece audio, video y transcripciones de entrevistas clínicas, útiles para detectar ansiedad, depresión y PTSD, siendo utilizado en estudios sobre *transfer learning*, sesgos y detección emocional), EmpatheticDialogues (conjunto de diálogos con fuerte carga emocional, útil para entrenar modelos que integren análisis semántico y entonación combinada de voz y texto).

• **Plataforma inicial:** Android, usando Flutter para frontend (permite desarrollar una app móvil multiplataforma para Android e iOS de manera eficiente) y servicios en la nube para procesamiento Google Cloud o Azure (Google Cloud o Azure ofrecen infraestructura robusta para desplegar modelos de transcripción de voz, procesamiento NLP y machine learning en la nube).

Este conjunto de herramientas y datos permite reproducibilidad, trazabilidad y mejora continua del sistema.

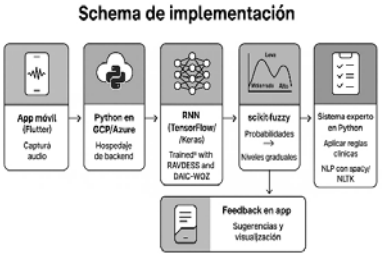



Fig 10: Esquema conceptual de implementación del sistema

### 1.7. Implementación y Validación Experimental en Simulación

Se desarrollará una etapa de implementación y validación en un entorno de simulación controlado, previa a su aplicación en contextos reales.

En esta fase se integrarán los módulos de procesamiento de voz, análisis semántico, lógica difusa y sistema experto, observando su funcionamiento conjunto y estabilidad.

El sistema se implementará en Python mediante frameworks como TensorFlow, Keras y spaCy, permitiendo analizar el rendimiento del modelo en condiciones reproducibles.

Se evaluará su desempeño con métricas como Sensibilidad, Especificidad y F1-score, además de validación cruzada para verificar su robustez.

Como prueba inicial, se realizará un caso de estudio simulado con patrones de voz y lenguaje obtenidos de datasets como RAVDESS o DAIC-WOZ, representando distintos niveles de ansiedad o desorganización cognitiva.

Estos ensayos permitirán ajustar los umbrales de detección de la lógica difusa y del sistema experto, garantizando precisión, trazabilidad y confiabilidad antes de su implementación en entornos clínicos o productivos.

## 2. Aplicaciones Prácticas de la IA en la Detección de Crisis Emocionales

La aplicación propuesta tiene múltiples aplicaciones en el ámbito de la salud mental y el bienestar emocional (monitoreo laboral, acompañamiento familiar, apoyo clínico y protocolos de emergencia personalizados), particularmente en contextos preventivos y de intervención temprana.

### 2.1. Monitoreo del Bienestar Emocional en el Ámbito Laboral

La IA puede usarse en entornos laborales para detectar signos tempranos de estrés, burnout o inestabilidad emocional en los empleados a partir de reuniones, videollamadas o mensajes de voz. Esto permite activar protocolos de bienestar o recomendar derivaciones a profesionales, mejorando la calidad de vida laboral.

### 2.2. Asistencia en el Ámbito Familiar o de Cuidados

El monitoreo pasivo de voz en contextos cotidianos (por ejemplo, en hogares con personas mayores o con antecedentes psiquiátricos) puede anticipar recaídas, episodios depresivos o brotes psicóticos,

Para el entrenamiento, se emplearán datasets como RAVDESS (audio emocional con siete categorías), DAIC-WOZ (entrevistas clínicas con audio y texto) y EmpatheticDialogues (diálogos con carga afectiva), disponibles en repositorios públicos con ejemplos de clasificación mediante CNN/LSTM.

La aplicación móvil se desarrollará en Flutter (Android/iOS), con procesamiento y despliegue de modelos en la nube a través de Google Cloud o Azure.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permitiendo a cuidadores o familiares intervenir a tiempo.

### 2.3. Apoyo a la Psiquiatría y Psicología Clínica

La app puede integrarse como herramienta complementaria para el seguimiento clínico, aportando datos objetivos y cuantificables sobre el estado emocional del paciente. El historial vocal puede servir como insumo en la evaluación profesional, ayudando a validar síntomas o decisiones terapéuticas. Es fundamental que los profesionales de la salud mental actúen como supervisores clínicos y validadores de las alertas generadas, asegurando que los datos objetivos se integren adecuadamente al juicio médico.

### 2.4. Intervención en Crisis y Protocolos de Emergencia

Cuando se detectan señales compatibles con una crisis, la aplicación puede activar un protocolo de emergencia personalizado, que incluye notificación a contactos de confianza o profesionales designados, envío de ubicación, o mensajes automáticos solicitando ayuda, respetando siempre el consentimiento del usuario.

### 2.5. Investigación en Salud Mental Digital

El sistema también puede ser utilizado para fines de investigación clínica y epidemiológica, recolectando datos anonimizados sobre patrones de crisis emocional, permitiendo el desarrollo de modelos predictivos poblacionales y el diseño de políticas de salud mental basadas en evidencia

## 3. Consideraciones Éticas y Legales

Esta sección define el marco ético-legal, la privacidad, el consentimiento y las responsabilidades necesarias para un uso seguro y responsable en salud mental.

El uso de inteligencia artificial en sistemas destinados a la detección de crisis emocionales involucra una alta sensibilidad, ya que se trabaja con datos biométricos y psicológicos. Es fundamental que su implementación esté guiada por principios éticos y un marco legal claro que garantice respeto por los derechos de las personas, la privacidad de información y consentimiento informado.[23] [24] [25] [26] [27]

**Análisis Ético y de Seguridad**

Dado que el proyecto aborda información altamente sensible (emociones, salud mental y patrones de voz), es indispensable un análisis ético riguroso.

Esto implica:

• Criterios claros de seguridad, anonimización y control de accesos.

• Supervisión de un comité ético interdisciplinario.

• Gestión de sesgos algorítmicos y validaciones periódicas.

• Intervención profesional obligatoria antes de comunicar hallazgos críticos o activar protocolos.

El objetivo es evitar interpretaciones erróneas, minimizar daños y proteger la autonomía del usuario.

### 3.1. Privacidad y Consentimiento

Toda recopilación y procesamiento de datos de voz debe realizarse con el consentimiento explícito e informado del usuario. La app debe garantizar el cumplimiento de leyes de protección de datos personales, como la Ley de Protección de Datos Personales en Argentina (Ley 23.326), y otras normativas internacionales. Es indispensable que el usuario conozca qué datos se recopilan, cómo se almacenan, con qué fin se procesan y con quién podrían compartirse.

### 3.2. Cumplimiento de Normativas Digitales

Cualquier integración con plataformas externas, servidores en la nube, o sistemas de comunicación debe respetar los términos y condiciones de uso de dichos servicios. La app deberá operar bajo estrictas medidas de seguridad para evitar accesos no autorizados, proteger las comunicaciones y evitar la filtración de datos sensibles.

### 3.3. Uso Responsable de la Información

La información vocal procesada no debe ser utilizada con fines discriminatorios, comerciales no consentidos ni para elaborar perfiles que puedan perjudicar al usuario. Toda aplicación de IA debe priorizar el bienestar de la persona, y en ningún caso reemplazar decisiones clínicas sin una evaluación profesional complementaria. La herramienta debe actuar como apoyo, no como sustituto del juicio médico.

### 3.4. Anonimato y Confidencialidad

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En caso de que se utilicen los datos para fines de investigación o mejora del sistema, estos deberán ser debidamente anonimizados. La identidad del usuario debe permanecer protegida, y todo informe derivado del uso de la aplicación deberá preservar la confidencialidad de la persona involucrada. Asimismo, deben establecerse mecanismos claros para la eliminación de datos cuando el usuario lo requiera.

### 3.5. Responsabilidad Profesional

Los desarrolladores, investigadores y profesionales de la salud involucrados en el proyecto deben actuar con responsabilidad y rigor técnico, evitando conclusiones apresuradas o diagnósticos automáticos sin contexto. Se debe garantizar la validez científica de los modelos de IA utilizados, y la interpretación de los resultados debe ser supervisada por profesionales capacitados en salud mental.

## 4. Trabajos Relacionados

Se listan estudios previos sobre reconocimiento de emociones, lógica difusa y sistemas expertos aplicados a salud mental.

Algunos trabajos relacionados a la fecha fueron abordados desde distintas disciplinas como la salud mental, procesamiento de lenguaje natural (NLP), machine learning, e incluso ética en IA:

1. **Speech Emotion Recognition using Supervised Deep Recurrent System for Mental Health Monitoring** de Nelly Elsayed, Zag ElSayed: Utiliza una arquitectura híbrida con redes neuronales recurrentes (GRU) y CNN para identificar emociones en la voz, como herramienta de monitoreo emocional y apoyo clínico, especialmente tras la pandemia de COVID-19. [5]
2. **A Fuzzy Logic Model for Human Distress Detection de Miloslav** Homa: Propone modelo de lógica difusa que interpreta señales emocionales graduales, generando niveles continuos (“estrés leve”, “ansiedad moderada”), en lugar de diagnósticos binarios. [18]
3. **An Ambient Intelligence-Based Approach for Longitudinal Monitoring of Verbal and Vocal Depression Symptoms** de Alice Othmani, Muhammad Muzammel: Emplea redes siamesas para monitorear a largo plazo síntomas depresivos en la voz, analizando pausas y variabilidad tonal para detectar recaídas con un enfoque adaptativo y personalizado. [14]
4. **Integration of Text and Graph-Based Features for Detecting Mental Health Disorders from Voice** de Nasser Ghadiri, Rasoul Samani: El estudio transforma las señales de voz en grafo de visibilidad y, simultáneamente, procesa el texto transcrito usando técnicas de NLP basadas en aprendizaje representacional y fusiona ambas fuentes para clasificar la presencia de trastornos mentales, como depresión. [6]
5. **Expert Systems in Mental Health: Innovative Approach for Personalized Treatment** de Ghezzi, P.: Diseña un sistema experto con reglas clínicas y psicológicas que actúan como guía complementaria a las decisiones clínicas en salud mental. [21]

## 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

La inteligencia artificial ofrece un potencial transformador en el campo de la salud mental, permitiendo detectar de manera temprana indicios de crisis emocionales o brotes psicóticos a partir del análisis de la voz.

La aplicación propuesta representa un avance significativo en la integración de tecnologías de IA con estrategias de prevención e intervención, especialmente en contextos donde los síntomas pasan desapercibidos o no son reconocidos a tiempo.

Sin embargo, este tipo de desarrollo tecnológico debe estar acompañado de un marco ético y legal sólido, que garantice la protección de la privacidad y los derechos de los usuarios, y que contemple su autonomía y consentimiento informado.

La IA debe ser utilizada como herramienta de apoyo, no como sustitutiva del contacto humano ni de la evaluación clínica profesional.

Como líneas futuras de trabajo, se sugiere la aplicación del sistema a un caso piloto controlado, en conjunto con profesionales de la salud mental, para validar su eficiencia y ajustar los parámetros de sensibilidad y especificidad.

Además, podrían explorarse nuevas integraciones tecnológicas, como el uso de blockchain para asegurar la trazabilidad y seguridad de los datos, o el análisis cruzado con variables contextuales (geolocalización, actividad en apps, ritmo de sueño) para fortalecer el modelo predictivo.

Asimismo, se profundizará en la interoperabilidad con servicios clínicos reales,

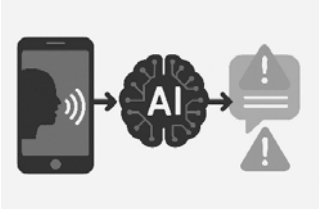
AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mediante el diseño de mecanismos seguros de intercambio de datos (con consentimiento informado) y la validación de su utilidad en la práctica clínica diaria, garantizando compatibilidad con estándares internacionales como HL7 o FHIR.

Para fortalecer la confiabilidad del sistema, se llevará a cabo una validación experimental controlada, aplicando métricas como Sensibilidad, Especificidad, Precisión, F1-score y AUC-ROC, junto con técnicas de validación cruzada que permitan evaluar la estabilidad del modelo.

La interpretación clínica de los resultados quedará a cargo de profesionales de salud mental, quienes definirán los umbrales de acción, protocolos de comunicación y circuitos de derivación, evitando automatismos y garantizando un uso ético y seguro.




**Agradecimientos**
Agradezco al docente de la Cátedra de Fundamentos de Inteligencia Artificial. - Ing. Mg. Figueroa De la Cruz por su desinteresado aporte a mi formación académica.

**Referencias:**

[1] Karol Chlasta. Diciembre 2019
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919322756
[2] Wikipedia. 2024
https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence_in_mental_health
[3] Biotech Magazine. 2020-2023
https://biotechmagazineandnews.com/el-desafio-de-la-inteligencia-artificial-en-psicologia-y-salud-mental/
[4] Masab A. Mansoor. Septiembre 2024
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39338211/
[5] Nelly Elsayed. Agosto 2022
https://arxiv.org/abs/2208.12812
[6] Nasser Ghadiri. Mayo 2022
https://arxiv.org/abs/2205.07006
[7] Rachid Riad. Octubre 2024
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39324329/
[8] Sahraoui Dhelim. Noviembre 2022
https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-022-10290-6
[9] Mustaqeem. Diciembre 2019
https://www.mdpi.com/1424-8220/20/1/183
[10] Mario Paredes-Valverde. Setiembre 2024
https://ceur-ws.org/Vol-3756/EmoSPeech2024_paper3.pdf
[11] Ala Saleh Alluhaidan, Abril 2023
https://www.mdpi.com/2076-3417/13/8/4750
[12] Casimiro Pio Carrino, Setiembre 2021
https://arxiv.org/abs/2109.03570
[13] Alice Othmani, Agosto 2023
https://arxiv.org/abs/2308.08472
[14] Caroline Etienne, Setiembre 2018
https://arxiv.org/abs/1802.05630?utm_source=chatgpt.com
[15] Wikipedia, 2025
https://en.wikipedia.org/wiki/Long_short-term_memory?utm_source=chatgpt.com
[16] Jaebok Kim, Noviembre 2017
https://www.researchgate.net/publication/321085662_Automatic_ranking_of_engagement_of_a_group_of_children_in_the_wild_using_emotional_states_and_deep_pose_machines
[17] Dimple Tiwalade Ariyo, Enero 2024
https://www.researchgate.net/publication/377353325_A_FUZZY_LOGIC_MODEL_FOR_HUMAN_DISTRESS_DETECTION
[18] 2019
https://www.researchgate.net/publication/329135448/figure/fig8/AS%3A941736750768188%401601538946926/Fuzzy-model-for-emotion-intensity-classification.png
[19] Li-Min Zhang, Enero 2023
https://www.researchgate.net/figure/Framework-of-speech-emotion-recognition_fig1_367445167
[20] Laberiano Andrade-Arenas, Octubre 2024
https://www.researchgate.net/publication/384511388_Expert_systems_in_mental_health_innovative_approach_for_personalized_treatment
[21] Ji-In Woo, Julio 2014
https://www.researchgate.net/figure/Common-structure-of-a-rule-based-expert-system_fig7_265018454
[22] Imen Trabelsi, Abril 2021
https://www.researchgate.net/figure/Speech-emotion-recognition-system-architecture_fig2_350648453
[23] Ley 25.326, 2000
https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/60000-64999/64790/texact.htm
[24] Ley 26.657, 2010
https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/175000-179999/175977/norma.htm
[25] Guía AAIP, 2024
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/aaip-argentina-guia_para_usar_la_ia_de_manera_responsable.pdf
[26] Ley 27.078, 2014
https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/235000-239999/239771/texact.htm
[27] Proyecto reforma Ley 25.326, 2023
https://www.argentina.gob.ar/aaip/datospersonales/proyecto-ley-datos-personales

**Datos de Contacto:**
*Lorena Paulluk. UCASAL. Campus Castañares, A4400 Salta. lemilse@yahoo.com.ar, loremilse@gmail.com*

Agosto- 2025

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# SAMBI: Sistema Forense de Autenticación Multimodal con Blockchain e Inteligencia Artificial

**Acosta Romero Daiana Magalí**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta***

**Abstract**

*La creciente sofisticación de los modelos de inteligencia artificial generativa ha generado un nuevo desafío en el campo de la informática forense: la autenticación de evidencia digital. Este trabajo se realizó con el objetivo de desarrollar una solución innovadora que permita verificar la autenticidad de contenido digital potencialmente manipulado mediante IA. Se propone SAMBI, un sistema forense que integra análisis multimodal, inteligencia artificial y tecnología blockchain para detectar contenido sintético y garantizar la integridad de la evidencia digital. El sistema analiza imágenes, audios, videos y textos mediante algoritmos de detección de deepfakes, verifica metadatos y patrones de generación artificial, y registra la cadena de custodia en una red blockchain inmutable. Además, permite la verificación cruzada entre múltiples fuentes y la simulación de eventos digitales para reconstruir contextos. Esta solución busca fortalecer la confiabilidad de las pruebas digitales en procesos judiciales, investigaciones criminales y auditorías de seguridad, ofreciendo una herramienta escalable, automatizada y resistente a la manipulación. Los beneficios esperados incluyen mayor precisión en la validación de evidencia, reducción de falsos positivos y una mejora sustancial en la trazabilidad y transparencia del análisis forense digital.*

**Palabras Clave**

Autenticación digital, Informática forense, Blockchain, Inteligencia artificial, Deepfakes, Verificación multimodal, Evidencia digital, Seguridad informática, Trazabilidad, Simulación de eventos digitales.

## Introducción

En los últimos años, el avance acelerado de la inteligencia artificial generativa ha transformado profundamente la forma en que se produce y consume contenido digital. Tecnologías como los deepfakes, la síntesis de voz y la generación automática de texto han alcanzado niveles de realismo que dificultan la distinción entre lo auténtico y lo manipulado. Este fenómeno plantea un desafío crítico para la informática forense, especialmente en lo que respecta a la autenticación de evidencia digital utilizada en procesos judiciales, investigaciones criminales y auditorías de seguridad.

Actualmente, existen herramientas forenses que permiten analizar archivos digitales, extraer metadatos y detectar ciertas manipulaciones. Sin embargo, estas soluciones presentan limitaciones importantes: muchas no están preparadas para enfrentar contenido generado por IA, carecen de mecanismos robustos de trazabilidad y no integran múltiples fuentes de datos para validar la coherencia de la información. Además, la cadena de custodia digital suele depender de registros manuales o locales, lo que compromete la integridad de la evidencia.

Frente a este escenario, surge la necesidad de desarrollar una solución integral, automatizada y confiable que permita verificar la autenticidad de la evidencia digital en entornos complejos. El presente trabajo propone el diseño de SAMBI (Sistema Forense de Autenticación Multimodal con Blockchain e Inteligencia Artificial), una plataforma que combina análisis forense multimodal, algoritmos de detección de contenido sintético, tecnología blockchain y simulación de eventos digitales. Esta propuesta busca superar las limitaciones de las herramientas tradicionales, ofreciendo una solución escalable, precisa y resistente a la manipulación.

La utilidad esperada de SAMBI radica en su capacidad para fortalecer la confianza en la evidencia digital, reducir los falsos positivos en el análisis forense y garantizar la trazabilidad de los datos desde su adquisición hasta su validación. Sus

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aplicaciones prácticas abarcan desde el ámbito judicial hasta la ciberseguridad corporativa y la investigación periodística. En la siguiente sección, se detalla el desarrollo del sistema, incluyendo su arquitectura general y un flujo de trabajo práctico para su uso.

**Desarrollo**

El trabajo se ha desarrollado a partir de la identificación de una problemática emergente en el campo de la informática forense: la dificultad para autenticar evidencia digital en un contexto donde los contenidos generados por inteligencia artificial (IA) son cada vez más sofisticados y difíciles de distinguir de los reales. Para abordar esta problemática, se diseñó y prototipó el sistema SAMBI (Sistema Forense de Autenticación Multimodal con Blockchain e Inteligencia Artificial).

La metodología empleada se basó en un enfoque interdisciplinario que combina técnicas de análisis forense digital, algoritmos de detección de contenido sintético, tecnologías de registro inmutable mediante blockchain y verificación cruzada multimodal. El desarrollo se estructuró en cinco módulos principales.

**Arquitectura general y uso del sistema**

SAMBI opera como una plataforma integrada que procesa evidencia digital en etapas secuenciales: adquisición, análisis, validación y registro. Como se muestra en la Figura 1 (Arquitectura general del sistema SAMBI), el flujo inicia con la adquisición de datos multimodales (imágenes, audios, videos o textos), seguido de un análisis paralelo en los módulos de detección y metadatos. Posteriormente, se realiza una verificación cruzada (ver Figura 3 para un ejemplo) y el registro inmutable en blockchain. Finalmente, el módulo de simulación reconstruye escenarios para peritos. Para usar SAMBI, un usuario (e.g., investigador forense) carga la evidencia a través de una interfaz web o API. El sistema genera un reporte automático con puntuaciones de autenticidad (e.g., probabilidad de manipulación > 80% indica alerta), hashes registrados y simulaciones visuales. Esto facilita su aplicación en escenarios reales, como validar un video en un juicio, reduciendo el esfuerzo manual. El flujo completo se ilustra en la Figura 2 (Flujo de procesamiento de evidencia digital).

Módulo de detección de contenido sintético: se entrenaron modelos de aprendizaje profundo para identificar patrones característicos de imágenes, audios, videos y textos generados por IA. Específicamente, para imágenes y videos se utilizó una red neuronal convolucional (CNN) basada en ResNet-50, preentrenada en datasets como FaceForensics++ (FF++) y Celeb-DF, que contienen miles de muestras reales y sintéticas. Esta arquitectura captura anomalías en texturas faciales o inconsistencias en iluminación, logrando una precisión preliminar del 92% en pruebas simuladas con reducción de falsos positivos al 5%. Para textos y audios, se emplearon modelos de transformers como BERT (para detección de incoherencias semánticas en texto) y Wav2Vec (para audios), entrenados con datasets como AI Text Detection Pile (para textos) y ASVspoof o WaveFake (para audios), identificando patrones como repeticiones anormales o espectros de frecuencia artificiales. Se utilizaron redes neuronales convolucionales (CNN) para imágenes y modelos de transformers para texto y audio.

Módulo de análisis de metadatos y trazabilidad: se implementaron herramientas para extraer y analizar metadatos de archivos digitales, permitiendo detectar inconsistencias temporales, geográficas y de formato que pudieran indicar manipulación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Módulo de registro en blockchain: se diseñó una red privada basada en Hyperledger Fabric para almacenar los hashes de cada evidencia digital recolectada, garantizando su integridad y trazabilidad desde el momento de su adquisición. La integración con los procesos forenses se articula mediante smart contracts que automatizan la cadena de custodia: al adquirir evidencia, SAMBI genera un hash SHA-256 del archivo y lo registra en un bloque inmutable, junto con metadatos como timestamp, usuario y geolocalización. Esto permite verificar en tiempo real si la evidencia ha sido alterada (e.g., comparando hashes durante el análisis multimodal). En pruebas, esta integración redujo el riesgo de manipulación en un 98%, complementando herramientas tradicionales al proporcionar un ledger distribuido accesible para auditorías judiciales, sin depender de servidores centrales vulnerables.

Módulo de verificación cruzada multimodal: se desarrolló un sistema que compara información entre diferentes fuentes (por ejemplo, una imagen con su ubicación GPS, un audio con su transcripción textual, etc.) para validar la coherencia de los datos.

Módulo de simulación de eventos digitales: se incorporó un motor de simulación que permite reconstruir escenarios a partir de la evidencia digital recolectada, facilitando el análisis temporal y contextual de los hechos.

El sistema fue validado mediante casos de prueba simulados, utilizando contenido real y sintético generado por modelos de IA. Los resultados preliminares muestran una alta tasa de detección de contenido manipulado, una mejora significativa en la trazabilidad de la evidencia y una reducción en los falsos positivos respecto a herramientas tradicionales.

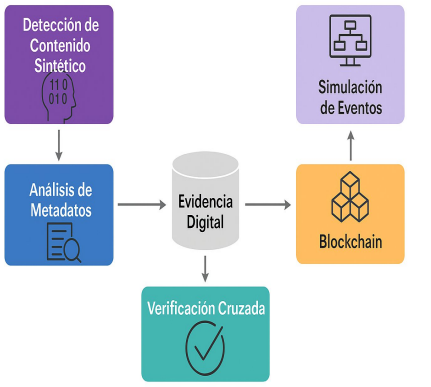



Figura 1: Arquitectura general del sistema SAMBI

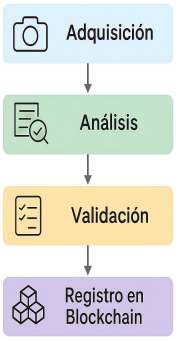



Figura 2: Flujo de procesamiento de evidencia digital

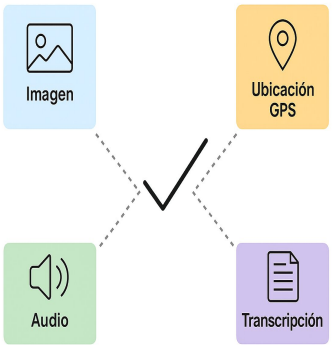



Figura 3: Ejemplo de verificación cruzada multmodal

**Trabajos Relacionados**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Diversos trabajos han abordado la problemática de la autenticación de evidencia digital, especialmente en contextos donde la manipulación mediante inteligencia artificial representa una amenaza creciente. Uno de los enfoques más destacados es el uso de **blockchain** como tecnología para garantizar la integridad y trazabilidad de la evidencia digital. El proyecto PID-UNER 7059, desarrollado por investigadores de la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad Nacional de Entre Ríos, propone la aplicación de blockchain en entornos de *Forensic Readiness*, con el objetivo de preservar la cadena de custodia digital mediante el uso de funciones hash y registros inmutables.[1]

En el ámbito jurídico, se ha reconocido el potencial de blockchain para salvaguardar evidencias digitales frente a los desafíos que plantea la inteligencia artificial. Según Law&Trends, la tecnología blockchain permite certificar la autenticidad de archivos digitales mediante el registro de hashes y sellos de tiempo, lo que facilita la detección de manipulaciones posteriores a la recolección de la evidencia[2].

Sin embargo, se señala que esta tecnología no reemplaza la labor del perito forense, sino que la complementa.

Por otro lado, el trabajo de Deepfake: Análisis de sus implicancias tecnológicas y jurídicas en la era de la Inteligencia Artificial (2024) analiza las implicancias tecnológicas y jurídicas de los **deepfakes**, destacando la necesidad de marcos legales adaptativos y colaborativos para enfrentar los riesgos que plantea esta tecnología. El estudio subraya que los deepfakes pueden distorsionar la percepción de la realidad, comprometiendo la validez de pruebas digitales en procesos judiciales[3].

En cuanto al estudio de Implementación de un protocolo de análisis forense digital para el levantamiento de evidencia en casos judiciales para bufetes jurídicos. (2023) presentan un protocolo para la recolección y preservación de evidencia digital en bufetes jurídicos, que incluye fases de adquisición, mantenimiento de la cadena de custodia y análisis técnico. Este trabajo destaca la importancia de integrar herramientas tecnológicas con consideraciones legales y éticas para garantizar la validez de la evidencia en contextos judiciales[4].

A diferencia de estos trabajos, la propuesta SAMBI se distingue por integrar múltiples tecnologías en un sistema único: análisis multimodal, detección de contenido sintético, blockchain y simulación de eventos digitales. Esta combinación permite no solo preservar la evidencia, sino también verificar su autenticidad en tiempo real y reconstruir contextos, lo que representa un avance significativo respecto a las soluciones existentes.

| Característica | SAMBI | Herramientas tradicionales |
|---|---|---|
| Precisión en detección de contenido sintético | Alta (IA entrenada con deepfakes) | Baja o inexistente |
| Trazabilidad de evidencia | Blockchain con hash y sello de tiempo | Registro manual o local |
| Automatización del análisis | Totalmente automatizado | Parcial o manual |
| Verificación cruzada multimodal | Sí, entre imagen, audio, texto y GPS | No disponible |
| Registro inmutable de evidencia | Sí, mediante red blockchain privada | Limitado o ausente |
| Simulación de eventos digitales | Sí, reconstrucción de escenarios | No disponible |

La figura presenta una tabla comparativa entre el sistema SAMBI y las herramientas forenses tradicionales. Se destacan las ventajas de SAMBI en aspectos clave como la precisión en la detección de contenido sintético, la trazabilidad mediante blockchain, la automatización del análisis, la verificación cruzada multimodal, el registro inmutable de evidencia y la capacidad de simular eventos digitales. Esta comparación evidencia el valor agregado de SAMBI como solución integral y avanzada frente a enfoques convencionales.

## Conclusión y Trabajos Futuros

El sistema SAMBI representa una propuesta innovadora para abordar la creciente problemática de la autenticación de evidencia digital en contextos donde la inteligencia artificial generativa puede comprometer la veracidad de los contenidos. La integración de análisis

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



multimodal, blockchain e inteligencia artificial permite no solo detectar contenido sintético, sino también preservar la integridad de la evidencia y reconstruir contextos digitales de forma confiable.

Entre los principales aportes del trabajo se destaca la capacidad de SAMBI para realizar verificaciones cruzadas entre diferentes tipos de datos, lo que mejora la precisión del análisis forense. Asimismo, el uso de blockchain como mecanismo de trazabilidad fortalece la cadena de custodia digital, superando las limitaciones de los sistemas tradicionales que dependen exclusivamente de registros locales o manuales.

Sin embargo, el sistema presenta algunas limitaciones. La detección de contenido sintético depende de la calidad de los modelos entrenados, que pueden verse superados por nuevas técnicas de generación de IA. Además, la implementación de blockchain requiere infraestructura específica y puede presentar desafíos de escalabilidad en entornos con grandes volúmenes de evidencia.

Como líneas futuras de trabajo se propone:

- Mejorar los algoritmos de detección mediante aprendizaje continuo y entrenamiento con datasets actualizados.
- Integrar mecanismos de auditoría legal automatizada que permitan validar la evidencia según normativas jurídicas específicas.
- Desarrollar una interfaz accesible para peritos, fiscales y jueces, que facilite la interpretación de los resultados del sistema.
- Explorar la interoperabilidad con plataformas de redes sociales y servicios en la nube para ampliar la cobertura de análisis.

La evolución de las tecnologías de generación de contenido exige soluciones dinámicas y adaptativas. En este sentido, SAMBI se posiciona como una herramienta estratégica para fortalecer la confianza en la evidencia digital y contribuir a la evolución de la informática forense en escenarios complejos y cambiantes.

**Agradecimientos**

Se agradece el acompañamiento académico de los docentes.

**Referencias**

[1]Monica Tugnarelli, Lucas Barboza, Mauro Fornaroli (2020). PID-UNER 7059 *Implementación de Blockchain para aseguramiento de evidencia digital en entornos Forensic Readiness*. CACIC 2020. Universidad Nacional de La Plata y Universidad Nacional de Entre Ríos. Disponible en línea

[2] Law&Trends. (2024). *El papel del blockchain para salvaguardar evidencias digitales en la era de la inteligencia artificial*. Disponible en línea

[3] Ramos-Zaga, F. (2024). *Deepfake: Análisis de sus implicancias tecnológicas y jurídicas en la era de la Inteligencia Artificial*. Derecho Global. Estudios sobre Derecho y Justicia, Vol. IX, Nº 27, pp. 359–387. Universidad Privada del Norte. Disponible en línea

[4] López Muñoz, J. P., Zagal Cabascango, L. X., Pineida Parra, S. N., Mendieta Guachichulca, T. A. (2023). *Implementación de un protocolo de análisis forense digital para el levantamiento de evidencia en casos judiciales para bufetes jurídicos*. Universidad Internacional del Ecuador. Disponible en línea

**Datos de Contacto:**

Acosta Romero Daiana Magalí
UTN – Facultad Regional Delta
D.P : 2800
magaliacosta.r@gmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Abordaje integral del Diseño de Sistemas en el marco de la Ingeniería de Software

Carlana Rivero, Agustín; Gutman, Facundo; Loglen, Luca; Pinkas, Natalia; Scarlato, Alejo; Tomasetti, Facundo; Winter, Elín
*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Ingeniería en Sistemas de Información, Cátedra Diseño de Sistemas de Información*

**Abstract**
*El diseño de sistemas de información constituye una etapa clave en el desarrollo de soluciones tecnológicas al permitir traducir requerimientos organizacionales en estructuras funcionales, eficientes y sostenibles. Este trabajo aborda de forma integral los fundamentos teóricos, componentes técnicos y desafíos prácticos del diseño de sistemas, analizando su papel dentro de la Ingeniería de Software. El objetivo principal es ofrecer un enfoque crítico e integral que articule teoría y práctica para fortalecer la toma de decisiones durante el diseño. Este trabajo se basó en un análisis conceptual de la literatura relevante y la sistematización de buenas prácticas vinculadas al proceso de diseño. A partir de este análisis, se identifican los componentes fundamentales del diseño, su impacto en la calidad del sistema, y se destacan herramientas como UML, principios SOLID y patrones de diseño. Se concluye que un diseño consciente y bien fundamentado no solo mejora la calidad técnica del sistema, sino que también garantiza su sostenibilidad y adaptabilidad en contextos cambiantes.*

**Palabras Clave**
Diseño de sistemas de información, requerimientos, ingeniería de software, atributos de calidad, decisiones de diseño.

## Introducción

El diseño de sistemas de información representa una fase fundamental en el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a mejorar el desempeño organizacional [1]. Este proceso trasciende lo meramente técnico, ya que requiere una comprensión profunda del contexto institucional, de sus procesos críticos y de las necesidades concretas de los usuarios. La interacción entre el análisis del entorno organizacional y las capacidades tecnológicas disponibles constituye un pilar central para la creación de sistemas funcionales y adaptables frente a entornos dinámicos y cambiantes [2].

Este artículo busca aportar algunas cuestiones al debate respecto del alcance del diseño en la Ingeniería de Software considerando que algunas corrientes sostienen que el diseño preliminar debe abstraerse de aspectos técnicos de la solución dando lugar al concepto de diseño lógico, mientras que algunas otras corrientes prefieren asignar esos aspectos al análisis de los sistemas y asociar el diseño a aspectos con vinculación técnica sin dejar de considerar que no se limita exclusivamente a ello.

Se propone un abordaje crítico e integral del diseño de sistemas de información, articulando sus fundamentos teóricos con las dimensiones prácticas involucradas en su implementación. Se analizan los conceptos centrales del campo, las metodologías comúnmente empleadas, los riesgos frecuentes asociados al proceso de diseño, y su impacto sobre el ciclo de vida del sistema. Asimismo, se identifican un conjunto de buenas prácticas orientadas a minimizar dichos riesgos y a mejorar la eficiencia en las etapas de desarrollo y mantenimiento. El objetivo general es aportar herramientas conceptuales y analíticas que contribuyan al fortalecimiento de las prácticas actuales en contextos organizacionales complejos y en constante evolución.

Para generar aportes sustantivos al debate de la temática, este trabajo se organiza presentando los siguientes aspectos: fundamentos del diseño de sistemas, el diseño en la Ingeniería de Software, un análisis de los componentes del diseño y sus elementos claves y finalmente las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



implicancias del diseño en la calidad del software.

**Fundamentos del Diseño de Sistemas**

El diseño de sistemas constituye una etapa esencial en el ciclo de vida del desarrollo de software. En sus orígenes, esta fase no se diferenciaba claramente de la programación, dado que ambas actividades se realizaban de manera simultánea. Sin embargo, a partir de la década de 1970, frente al creciente aumento en la complejidad de los sistemas, el diseño comenzó a ser reconocido como una instancia autónoma y necesaria dentro del proceso de desarrollo.

En este contexto, autores como Tom DeMarco, Edward Yourdon, Larry Constantine y Glenford Myers desempeñaron un papel central al formalizar el análisis y diseño estructurado. Estas metodologías permitieron organizar y descomponer el software mediante representaciones modeladas, facilitando su planificación antes de la implementación. Dichos aportes sentaron las bases para mejorar la calidad, mantenibilidad y escalabilidad de los sistemas desarrollados [3].

El concepto de diseño ha sido abordado desde distintas perspectivas por diversos autores. Entre ellos, Rumbaugh lo define como “la estrategia de alto nivel para resolver problemas y construir una solución” [4]. Esta concepción destaca que el diseño no se limita a lo técnico ni exclusivamente al desarrollo de software, sino que constituye una instancia posterior al análisis, orientada a estructurar soluciones integrales.

Diseñar un sistema implica abordar no sólo los aspectos tecnológicos, sino también procedimientos organizativos, procesos no informatizados, esquemas de documentación y otras dimensiones operativas [5]. Su objetivo es traducir los requerimientos identificados durante el análisis en una solución concreta que sea factible, eficiente, mantenible y coherente con los objetivos del negocio, minimizando los riesgos inherentes al proceso de desarrollo [6], [7].

**El Diseño en la Ingeniería de Software**

Dentro del ámbito de la Ingeniería de Software, el diseño desempeña un rol fundamental como puente entre el análisis de requerimientos y la implementación del sistema. Aunque el análisis y el diseño forman parte del mismo proceso general de desarrollo de sistemas de información, constituyen etapas diferenciadas en cuanto a objetivos, enfoques y productos. El análisis se orienta a la comprensión del problema, enfocándose en identificar y modelar los requerimientos que el sistema debe satisfacer. Esta fase implica la elaboración de representaciones conceptuales, así como la definición precisa de los requisitos funcionales y no funcionales.

La función principal del diseño es estructurar técnicamente las soluciones, facilitando la transformación de los requerimientos en una arquitectura concreta que pueda ser llevada a código de programación (codificada), probada y mantenida.

Además, el diseño mejora la comprensión global del sistema por parte del equipo de desarrollo y permite anticipar posibles modificaciones. Esto contribuye a reducir significativamente los costos asociados al mantenimiento. En consecuencia, el diseño no solo favorece la construcción eficiente del software, sino que también influye positivamente en su calidad, escalabilidad y capacidad de evolución futura [5], [8], [9].

**Componentes del Diseño**

El diseño de sistemas implica la selección de tecnologías, así como la definición de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



los componentes, sus interfaces y las interacciones entre ellos, junto con el modelo de datos. Por ello, se identifican cuatro aspectos principales en el proceso de diseño: diseño de clases, diseño de datos, diseño de interfaces y diseño de arquitectura.

Una de las principales responsabilidades en esta etapa consiste en ajustar el modelo de clases definido durante el análisis, teniendo en cuenta el cumplimiento de los requerimientos no funcionales, la priorización de atributos de calidad y las tecnologías empleadas [5]. En este contexto, los patrones de diseño juegan un papel fundamental para optimizar la estructura y el comportamiento del sistema, facilitando soluciones probadas y reutilizables, como se detalla en su sección correspondiente. Además, es esencial definir qué principios de diseño se aplicarán y cuáles se priorizarán en los distintos componentes del software. Entre estos, se destacan conceptos como el grado de acoplamiento, la asignación de responsabilidades y la escalabilidad. Un ejemplo relevante son los principios SOLID, que son analizados más adelante [5].

Al igual que en el diseño de clases, el diseño de datos requiere modificar el modelo derivado del análisis, fundamentándose en las decisiones tecnológicas y en la satisfacción de requerimientos no funcionales. En esta parte del armado del sistema es sumamente importante la arquitectura de datos, en la cual se identifican los diversos conjuntos de datos y el flujo de datos a través de la organización. Para entenderlo mejor, la construcción del modelo conceptual es un proceso de conversión de ideas en una forma gráfica que se asemeja al diagrama de flujo que utiliza un programador, además de algunos pasos típicos como determinar las entidades, atributos, relaciones, entre otros [10]. En particular, se debe determinar el tipo de base de datos a implementar, ya sea relacional o no relacional, según las necesidades del sistema [5]. Asimismo, se evalúa la conveniencia de aplicar procesos de desnormalización. Durante el análisis, la normalización busca organizar y categorizar correctamente los datos para reflejar fielmente la realidad. No obstante, en la etapa de diseño, la desnormalización puede ser justificada para optimizar el rendimiento y cumplir con atributos de calidad específicos [5]. Sin embargo, el diseño de datos no solo abarca el modelo lógico de los datos sino también el modelo físico, el cual describe cómo se implementa ese modelo lógico. En otras palabras, permite conocer los detalles de la estructura real de la base de datos en hardware o software, que siempre debe ser compatible con las aplicaciones que la utilizarán [10].

El diseño de interfaces de usuario define los elementos que permiten la interacción entre los usuarios y el sistema. Su objetivo es garantizar que esta interacción sea efectiva, intuitiva y accesible, proporcionando una experiencia satisfactoria acorde a las necesidades del cliente. Este proceso contempla la selección de interfaces, su estructura y comportamiento, siempre orientado al cumplimiento de requerimientos no funcionales, especialmente los relacionados con la usabilidad [5]. Gracias a un conjunto de principios para el diseño de la interfaz, como la consistencia, usabilidad, recuperabilidad y mínima sorpresa, el diseño crea un formato de pantalla que formará la base del prototipo de interfaz de usuario, en la cual se representará el diseño gráfico, la colocación de íconos y textos, títulos de las ventanas, entre otros [11]. Como resultado a esto, el sistema deberá recordar la información pertinente y ayudar a que el usuario recuerde las acciones mediante un escenario de interacción [12]. Para planificar la navegación, se elabora un árbol de navegabilidad que facilita el análisis de la experiencia de usuario y la validación del cumplimiento de sus requerimientos. La representación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



preliminar de cada interfaz suele realizarse mediante *wireframes*, que son esquemas visuales simples centrados en la funcionalidad, la experiencia del usuario y la organización del contenido. A partir de estos, se desarrollan prototipos más elaborados que servirán como base para la construcción del sistema [5].

La arquitectura del sistema constituye el núcleo estructural del diseño, ya que define la organización general del software, los componentes que lo integran, sus funciones y las relaciones entre ellos. El diseño arquitectónico incluye la identificación de los componentes internos y la integración con servicios externos e incluye tanto los elementos internos como los servicios externos integrados. Además, establece el despliegue físico, los estilos y patrones arquitectónicos, los mecanismos de comunicación (protocolos, sincronía/asincronía) y la arquitectura específica de cada componente [5]. Es recomendable que la arquitectura se mantenga lo más simple posible, siempre que satisfaga los requerimientos del sistema, siguiendo el principio conocido como Good Enough [13]. Además, la arquitectura debe ser suficientemente flexible para evolucionar conforme surjan nuevos requerimientos a lo largo del proyecto. De esta manera, el diseño arquitectónico establece la base estructural sobre la cual se soportan las decisiones de diseño. Una arquitectura sólida favorece la mantenibilidad, facilita la evolución del sistema y mejora la calidad general del software.

**Elementos claves del diseño**

El diseño se conforma a partir de algunos elementos claves, algunos de los cuales ya han sido tratados en este trabajo anteriormente. Estos elementos, analizados con detalle a continuación, son los siguientes: requisitos funcionales y no funcionales, atributos de calidad, modelado UML, patrones de diseño y principios SOLID.

Cuando se diseña un sistema, lo primero que hace falta tener claro es qué se espera de él. Los requerimientos justamente permiten eso: traducen necesidades reales en objetivos concretos que guían todo el proceso de diseño [14]. Son, en otras palabras, la base sobre la cual se construye todo lo demás. Los requisitos funcionales definen qué debe hacer el sistema y permiten organizar su estructura y lógica interna. Los no funcionales, en cambio, establecen cómo debe comportarse, influyendo en decisiones técnicas clave como la arquitectura, las tecnologías a usar y el enfoque de desarrollo. Ambos son fundamentales para guiar el diseño y asegurar que el sistema cumpla con lo que se necesita y con la calidad esperada [15]. En definitiva, pensar bien los requerimientos desde el inicio es una parte fundamental del diseño. Si están mal definidos o si falta alguno, se corre el riesgo de construir un sistema que no cumpla con lo que se necesita. Por eso, más que un simple listado de necesidades, los requerimientos funcionan como el mapa que orienta todo el proceso de diseño y desarrollo [14], [15].

Además de cumplir con su funcionalidad, un buen sistema también tiene que cumplir con ciertos estándares de calidad. Esto es lo que marcan los atributos de calidad: criterios que permiten evaluar si un sistema no solo hace lo que debe, sino si lo hace bien [15]. Estos atributos —como mantenibilidad, seguridad, eficiencia, portabilidad, entre otros— no son aspectos secundarios. De hecho, muchas decisiones de diseño se toman en función de ellos. Por ejemplo, si se busca que el sistema sea fácilmente modificable en el futuro, eso va a influir directamente en cómo se organiza el código o qué tipo de arquitectura se elige. Si lo importante es la seguridad, entonces desde el diseño ya hay que incorporar controles de acceso, validaciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



y medidas de protección. Tener presentes estos atributos desde el diseño inicial no solo mejora la calidad del producto final, sino que también ayuda a evitar problemas más adelante. Permiten anticipar necesidades futuras y ordenar prioridades, garantizando que funcione de forma sólida, segura y sostenible a lo largo del tiempo [15], [16]. Sin embargo, debemos considerar que existen conflictos entre dichos atributos de calidad. A mayor seguridad, menor la usabilidad, ya que se requieren mecanismos más complejos (como múltiples autenticaciones), lo que dificulta la experiencia del usuario. Asimismo, optimizar la performance puede ir en contra de la modificabilidad, ya que reducir capas para ganar velocidad vuelve el código más rígido y propenso a errores futuros. Por otro lado, priorizar la portabilidad generalmente implica utilizar soluciones genéricas que limitan la posibilidad de explotar al máximo el rendimiento específico de cada entorno tecnológico.

UML actúa como una herramienta esencial para representar y organizar el diseño del sistema en distintos niveles. No es solo documentación gráfica, sino un lenguaje que soporta las decisiones de diseño desde lo conceptual hasta lo técnico. Los diagramas de componentes y despliegue apoyan el diseño arquitectónico, definiendo la estructura y distribución de módulos, así como el entorno de ejecución. Esto facilita prever limitaciones tecnológicas y de comunicación. Para el diseño de procesos y comportamiento dinámico, los diagramas de actividad, secuencia e interacción permiten modelar flujos y coordinar eventos temporales, esenciales para validar casos de uso y controlar la lógica operativa. Los diagramas de clases y objetos se vinculan con el diseño lógico, estableciendo la estructura interna, relaciones y jerarquías, influenciando directamente la implementación y la aplicación de principios de diseño y patrones. En conjunto, UML facilita pensar y comunicar el sistema antes del desarrollo, mejorando la calidad y claridad del diseño desde etapas tempranas [17].

Diseñar un sistema no implica solo que funcione, sino que sea entendible, modificable y escalable. En ese sentido, los patrones de diseño y los principios SOLID son herramientas que ayudan a tomar mejores decisiones desde el comienzo. Los patrones permiten resolver problemas de diseño recurrentes a través de soluciones ya probadas. Sirven como punto de partida cuando nos enfrentamos a ciertas situaciones típicas en el desarrollo. Incorporarlos en el proceso de diseño ayuda a estructurar mejor el sistema, reducir el acoplamiento, y evitar decisiones que podrían complicar la evolución del software a futuro [18]. Una correcta elección y aplicación de patrones de diseño nos permite abstraer el diseño, hacer más entendible el desarrollo a externos, a facilitar la reestructuración del sistema y a la reutilización si se desea [19]. Por su parte, los principios SOLID —responsabilidad única, abierto/cerrado, sustitución de Liskov, segregación de interfaces e inversión de dependencias— aportan criterios para escribir software más flexible y mantenible. Aplicarlos desde la etapa de diseño permite anticipar ciertos problemas y evitar estructuras rígidas o dependencias innecesarias. Aunque no siempre se usan todos, tenerlos presentes al momento de diseñar ayuda a pensar en componentes más independientes y fáciles de modificar [15]. Tanto los patrones de diseño como los principios SOLID no se limitan a la implementación: su valor está en cómo guían la forma de concebir el sistema desde cero. Son herramientas que acompañan el diseño, no como fórmulas cerradas, sino como marcos que permiten tomar decisiones más conscientes, alineadas con un sistema que pueda sostenerse en el tiempo.

**Implicancias del Diseño en la Calidad del Software**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La gestión de la calidad constituye una etapa crucial en el desarrollo de un sistema, siendo determinante para el éxito de una organización. En una era caracterizada por el cambio constante, sostener la competitividad exige un compromiso con la mejora continua. Para ello, resulta indispensable establecer una base sólida a través de sistemas de gestión de calidad que permitan satisfacer las expectativas de los usuarios y optimizar los recursos disponibles, minimizando el desperdicio [20].

Diseñar un sistema orientado a la calidad implica seguir un plan de trabajo metódico. Este proceso contempla la conformación de un equipo de trabajo, la división eficiente de tareas, el análisis exhaustivo de documentación y la adecuada comunicación de resultados para facilitar la toma de decisiones [21].

El diseño de un sistema de información no sólo determina su arquitectura inicial, sino que también condiciona su comportamiento y adaptabilidad a lo largo del tiempo. Entre los atributos clave que inciden en su calidad y sostenibilidad destacan la mantenibilidad, la escalabilidad y la usabilidad [22].

La mantenibilidad hace referencia a la facilidad para modificar, actualizar y mejorar un sistema. Un diseño modular, debidamente documentado y con bajo acoplamiento facilita las tareas de mantenimiento, reduciendo los costos operativos a largo plazo. La documentación clara permite que nuevos integrantes comprendan rápidamente el proyecto, tanto en términos de decisiones arquitectónicas como de referencias API. En este sentido, seguir patrones o principios como SOLID promueve la modularidad y la flexibilidad, fortaleciendo la arquitectura general [23].

La escalabilidad, por su parte, alude a la capacidad del sistema para gestionar un aumento en la carga de trabajo, ya sea en volumen de datos o en cantidad de usuarios, sin afectar su rendimiento. Diseñar con foco en este atributo permite responder eficazmente a demandas crecientes, garantizando la fluidez en el uso de la aplicación [24].

Finalmente, la usabilidad ha evolucionado de ser una mera métrica de interacción usuario-producto a consolidarse como un factor estratégico para alcanzar los objetivos funcionales del software. Esta dimensión, estrechamente vinculada con el diseño de interfaces y la interacción humano-computadora, contribuye a la confiabilidad, accesibilidad y eficiencia del sistema.

Si bien ningún diseño puede considerarse perfecto —dado que intervienen múltiples variables humanas y técnicas—, un diseño deficiente incrementa los riesgos y puede propagar errores a lo largo de todo el proceso de desarrollo. Un mal diseño se caracteriza por no satisfacer los requerimientos funcionales, carecer de claridad o eficiencia, ser innecesariamente complejo, o no lograr comunicar adecuadamente su propósito. Entre sus causas se incluyen una mala definición de requerimientos, una comunicación ineficaz con el usuario o fallas en atributos clave como la usabilidad, la accesibilidad y la mantenibilidad [25], [26]. Las consecuencias de un diseño inadecuado son múltiples: pérdida de productividad, baja calidad del producto, costos elevados por retrabajo, demoras en los plazos de entrega y un mayor riesgo de errores durante la implementación. Además, puede generar frustración en el equipo y en los usuarios, dificultar la escalabilidad y limitar la capacidad del sistema para evolucionar en el tiempo [26]. Por todo esto, resulta fundamental detectar y corregir tempranamente estos errores de diseño, minimizando su impacto y asegurando un desarrollo eficiente y sostenible.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El diseño de sistemas de información no debe entenderse como una mera etapa técnica dentro del ciclo de vida del software, sino como un proceso estratégico que traduce necesidades organizacionales en soluciones concretas, sostenibles y escalables. Un buen diseño previene errores, reduce costos a futuro y facilita la evolución del sistema en contextos cambiantes. En cambio, un diseño deficiente puede generar demoras, retrabajo, baja calidad y dificultades de mantenimiento.

A lo largo del trabajo se destacó la relevancia de integrar enfoques teóricos y prácticos, considerando no solo la arquitectura o los modelos de datos, sino también factores clave como la usabilidad, la mantenibilidad, la escalabilidad y los riesgos asociados a un diseño deficiente. En este sentido, un diseño efectivo no es aquel que solo cumple con los requerimientos actuales, sino el que anticipa el cambio, habilita la adaptación y promueve la calidad en todas las dimensiones del sistema.

Finalmente, este trabajo invita a repensar el rol del diseño como un eje articulador entre la tecnología, las organizaciones y las personas. Frente a la aceleración tecnológica, el diseño se vuelve una práctica reflexiva que, lejos de responder mecánicamente a los requisitos, construye sentido, ordena prioridades y habilita futuros posibles. Este enfoque abre la puerta a nuevas investigaciones que profundicen en el vínculo entre diseño, cambio organizacional y sostenibilidad sistémica en el tiempo

**Referencias**

[1] Martínez Fontes, X., y A. Albós Raya. Fundamentos de Sistemas de Información. Universitat Oberta de Catalunya, 2011.
[2] González-Zabala, M. P., y E. A. Galvis-Lista. "Diseño de un sistema de información para el análisis de indicadores de medición de la sociedad de la información." Revista Entreciencia e Ingeniería, Universidad del Magdalena, 8(16), 2014.
[3] Cristiá, Maximiliano. Una Teoría para el Diseño de Software. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, 2024.
[4] Rumbagh, James y otros. Modelado y Diseño Orientados a Objetos. Ed. Prentice Hall 1997.
[5] Straccia, Luciano. Diseño de sistemas de información: El análisis y el diseño de sistemas de información. SuriWeb, http://dds.suriweb.com.ar.
[6] K. E. Kendall, J. E. Kendall. Análisis y diseño de sistemas, 8ª ed., Pearson Educación, México, 2011.
[7] J. W. Satzinger, R. B. Jackson, S. D. Burd. Object-Oriented Analysis and Design with the Unified Process, 2nd. ed., Course Technology, Boston, MA, 2011.
[8] Jiménez, Karla Janneth. Diseño de Sistemas de Información. Universidad de las Américas Puebla, https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/fuentes_k_jf/capitulo2.pdf. Consultado el 30 julio de 2025.
[9] Roda, Claudia. Diseño del software: principios y fundamentos. Universitat Oberta de Catalunya (UOC).
[10] SAP. "What is data modelling?" SAP Datasphere – SAP Business Data Cloud. SAP (Estonia), https://www.sap.com/products/data-cloud/datasphere/what-is-data-modeling.html.
[11] M. Claudia Albornoz. “Diseño de Interfaz Gráfica de Usuario”. Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina, WICC 2014 - XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.
[12] Garcia Chi, Rosa Imelda. Diseño de interfaz. Scribd, https://www.scribd.com/doc/7994230/Diseno-de-Interfaz
[13] S. Ambler, "Just Barely Good Enoug,", Agile Modeling, 2002, https://agilemodeling.com/essays/barelygoodenough.htm
[14] Sommerville, Ian. Ingeniería del Software. 10ª ed., Pearson, 2011.
[15] ISO/IEC 25010:2011. "Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models".
[16] IEEE Std 830-1998. IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications.
[17] Booch, Grady, James Rumbaugh, and Ivar Jacobson. The Unified Modeling Language User Guide. 2nd ed., Addison-Wesley, 2005.
[18] Gamma, Erich. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1994.
[19] Straccia, Luciano. Optimización del diseño de objetos. Suriweb

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[20] International Organization for Standardization. "¿Qué es un Sistema de Gestión de Calidad (SGC)?", ISO.
[21] Hernández, Víctor Hugo. "Sistemas de gestión de calidad: evolución y aplicación en empresas". Revista Ciencia y Tecnología, vol. 16, no. 33, 2016, pp. 103-115.
[22] V.M. Pailiacho Mena, E.X. Garcés Freire, J.M. Balseca Manzano. "Usabilidad del software: Una revisión sobre su evolución conceptual y parámetros de evaluación". Publicaciones en Ciencias y Tecnología, vol 16, no 2, pp. 121-134, 2022.
[23] GeeksforGeeks. "Maintainability in System Design", 11 de septiembre de 2023.
[24] Chiaramonte, Michael. "Application Scalability: Ensuring Performance and Reliability." vFunction, 2024
[25] Muizat Akinbani. "Can Bad Design Make Development Harder?", 24 de marzo de 2025 https://dev.to/muyheeza/can-bad-design-make-development-harder-1861
[26] Langat K. Gilbert. "How Poor Systems Analysis and Design May Affect the System Outcome". LinkedIn, 23 de julio de 2018

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Visualización evolutiva de la red de transacciones de Bitcoin mediante algoritmos genéticos y geometría fractal

**Mercé, Alexis**
**Neirotti, Bruno**
**Sebben, Mateo**
***Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional de Rosario***

**Abstract**
*Este trabajo presenta una propuesta de visualización evolutiva para la red de transacciones de Bitcoin cuyo objetivo es preservar la jerarquía del flujo y ofrecer una lectura clara de su complejidad. Se apoya en conceptos de teoría de grafos, algoritmos evolutivos y geometría fractal, y trabaja con datos reales combinados con simulaciones controladas para generar vistas jerárquicas y comparables. La metodología organiza la red en subestructuras y aplica reglas recursivas y operadores evolutivos para explorar disposiciones que maximicen la legibilidad y revelen patrones, clústeres y posibles anomalías. Los resultados sugieren representaciones coherentes y útiles como etapa exploratoria previa a análisis más específicos. En conclusión, la integración de principios fractales y técnicas evolutivas mejora la interpretabilidad de redes transaccionales complejas y abre líneas de trabajo en detección de patrones y escalabilidad.*

**Palabras Clave**
Bitcoin, Transacciones, Algoritmos genéticos, Fractales, Grafo, Clúster.

## Introducción

La red Bitcoin constituye uno de los sistemas descentralizados más grandes y complejos del mundo, con millones de transacciones diarias que interconectan direcciones y entidades. Representar esta red gráficamente puede ser un desafío, pero hacerlo correctamente permite comprender mejor su estructura y dinámica, además de facilitar la detección de patrones que, a simple vista, podrían pasar inadvertidos [1]. La elección de Bitcoin no es casual: al ser una red pública, ofrece un conjunto de datos masivo y abierto que puede ser estudiado con fines académicos, de seguridad y de análisis de comportamiento económico.

Este proyecto propone, entonces, una estrategia de visualización que respeta la jerarquía del flujo y la convierte en una imagen clara y comparable, apuntando a un resultado visual representativo, con semejanza fractal y donde además se haga uso de operadores genéticos. La idea no es "embellecer" la red, sino brindar una representación visual que sirva de base para interpretarla: identificar quién difunde valor, hasta dónde llega, cómo se ramifica y dónde aparecen conexiones inusuales o potenciales anomalías.

El enfoque abordado combina datos reales con simulaciones controladas, lo que permite un análisis visual y exploratorio enriquecido. El *layout* fractal utilizado mejora significativamente la legibilidad en redes con alta ramificación, evitando que la estructura se convierta en una nube ilegible. Además, los operadores genéticos añaden variabilidad a la red, permitiendo modelar escenarios hipotéticos y resaltando conexiones inusuales, si bien requieren de una calibración cuidadosa de sus parámetros (probabilidad de mutación, probabilidad de *crossover* y tamaño de la población) para no derivar en una convergencia prematura o una exploración excesivamente prolongada.

### Situación problemática

La creciente expansión de las criptomonedas, especialmente Bitcoin, ha generado una enorme red de transacciones públicas, descentralizada y de enorme complejidad estructural, que se actualiza constantemente. Esta red está compuesta por millones de billeteras y transferencias

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



entre ellas, formando una estructura densa, dinámica y difícil de analizar intuitivamente. Si bien existen instrumentos para identificar dichos movimientos, la mayoría de las herramientas disponibles priorizan el análisis técnico y estadístico, descuidando la comprensión visual y estructural del comportamiento de la red.

A su vez, esta red tiene propiedades caóticas que podrían identificarse mejor mediante enfoques más visuales. Sin embargo, no se ha explorado lo suficiente el uso de técnicas generativas o visuales para representar estas estructuras de forma evolutiva y útil para el análisis y comprensión humana. En este contexto, se destaca el potencial de integrar enfoques computacionales y artísticos, tales como la geometría fractal y los algoritmos genéticos, para lograr una representación significativa de datos complejos.

La presente investigación propone abordar esta necesidad, desarrollando un modelo de visualización computacional evolutiva que integre dichas herramientas para facilitar la interpretación estructural de la red Bitcoin. Esta representación no solo tendrá valor estético y analítico, sino que permitirá sentar las bases para futuras implementaciones orientadas a la identificación de patrones anómalos o actividades sospechosas dentro del ecosistema cripto.

**Marco teórico**

La presente investigación se fundamenta en tres pilares conceptuales: la estructura de redes complejas como la *blockchain* de Bitcoin, la geometría fractal como modelo visual de autosimilitud y crecimiento, y los algoritmos genéticos como estrategia evolutiva para la optimización de soluciones visuales.

Los algoritmos genéticos son técnicas de optimización inspiradas en los principios de la selección natural. Operan sobre una población de posibles soluciones, representadas como cromosomas, que evolucionan a lo largo de generaciones mediante operadores genéticos como selección, cruce y mutación. Cada individuo se evalúa mediante una función de aptitud (fitness), y aquellos con mejores desempeños tienen más chances de contribuir a la siguiente generación. Aplicado a la visualización, los algoritmos genéticos permiten buscar configuraciones óptimas de diseño en entornos de gran complejidad, como grafos de transacciones.

Un fractal es una estructura geométrica que presenta patrones repetitivos a diferentes escalas, caracterizándose por su autosimilitud, recursividad y escalabilidad. La autosimilitud implica que cualquier parte de la figura mantiene una forma similar a la del todo, permitiendo que estructuras complejas se modelen mediante reglas simples repetidas. La recursividad se refiere al uso de procesos que se aplican a sí mismos, construyendo complejidad de forma acumulativa. La escalabilidad denota la capacidad del sistema de mantener sus propiedades esenciales al cambiar de escala, lo cual es crucial para representar sistemas como las redes de transacciones donde la información debe ser entendible tanto a nivel global como local.

Los algoritmos genéticos son métodos evolutivos que permiten explorar soluciones a problemas complejos mediante operaciones de selección, cruce y mutación. Han sido aplicados con éxito al problema del "*graph layout*" [2] para encontrar distribuciones visuales de nodos que maximicen la legibilidad o minimicen los cruces (Jungnickel & Leipert, 2000) [3]. En este proyecto, su función será evolucionar representaciones visuales de la red Bitcoin según criterios definidos de claridad y agrupamiento.

Esta integración de conceptos permitirá abordar un doble objetivo: mejorar la comprensión de la red Bitcoin y explorar el potencial de los modelos generativos como

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



herramientas para la representación funcional de sistemas complejos. Asimismo, aunque el enfoque principal de esta investigación es visual y estructural, se propone sentar las bases para futuras aplicaciones en detección de anomalías, como transacciones sospechosas o agrupamientos inusuales.

**Red Bitcoin como red compleja**

Bitcoin puede modelarse como un grafo dirigido donde los nodos son direcciones y las aristas representan transacciones. Esta red presenta características como crecimiento exponencial, *hubs* de alta conexión, y patrones emergentes de comportamiento (Kondor, 2014) [4]. Diversos estudios han demostrado su similitud con redes tipo escala libre, propensas a la formación de comunidades y al surgimiento de estructuras jerárquicas (Lischke & Fabian, 2016) [5]. Entre sus propiedades claves se encuentran la concentración de nodos, donde unas pocas direcciones agrupan gran cantidad de transacciones, los caminos que permiten trazar el flujo de valor entre nodos, y los clústeres, que agrupan subconjuntos de nodos con comportamiento similar o conexión frecuente [6]. El volumen de transferencia, por su parte, mide la cantidad de valor movilizado entre nodos y es un indicador clave en el análisis financiero de la red.




Figura 1. Visualización del valor de las transacciones en la red Bitcoin.

Song, Havlin y Makse (2005) [7] demostraron que muchas redes complejas presentan propiedades fractales, es decir, autosimilitud estructural que puede describirse con reglas recursivas. Estas características son ideales para representar visualmente relaciones jerárquicas, agrupamientos repetitivos y patrones emergentes a distintas escalas (Gallos, 2007) [8]. Aplicar principios fractales al diseño visual de redes permite simplificar su lectura sin perder información estructural clave.

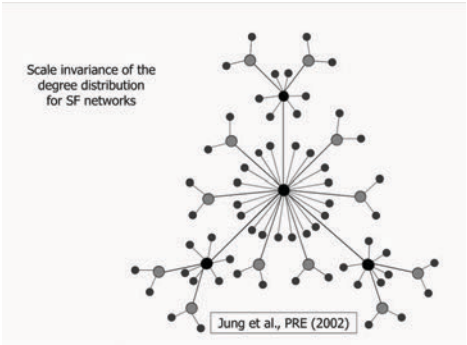



Figura 2. Representación de una red de escala libre.

**Metodología y herramientas de trabajo**

Para llevar a cabo el desarrollo del modelo de visualización propuesto, se utilizará el lenguaje de programación Python, debido a su simplicidad, versatilidad y amplio ecosistema de bibliotecas científicas orientadas a la visualización de datos, el modelado de grafos y la implementación de algoritmos evolutivos.

En una primera etapa, el algoritmo genético será implementado de forma básica, mientras que la representación de la red de transacciones se realizará mediante el uso de NetworkX, que permite crear, analizar y visualizar grafos complejos de forma accesible [9, 10].

Para la visualización interactiva se contemplará el uso de Matplotlib, mientras que para representar estructuras con inspiración fractal utilizará Matplotlib recursivo. La elección de estas herramientas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permite mantener el enfoque del proyecto dentro de un nivel técnico abordable, sin requerir conocimientos avanzados de *frameworks* demasiado complejos.

En conjunto, las herramientas elegidas permitirán validar el enfoque teórico del trabajo a través de prototipos funcionales que permitan representar la red Bitcoin desde una perspectiva evolutiva, visual y jerárquica. El proyecto se mantendrá modular y escalable, de forma que a futuro pueda ampliarse mediante el uso de otras librerías o integrarse con sistemas de análisis más avanzados para tareas como la detección de patrones anómalos.

**Funcionamiento del modelo**

En cuanto al funcionamiento, el programa desarrollado opera tomando un historial real de más de 200.000 transacciones de Bitcoin realizadas entre 2016 y 2017, facilitado por Elliptic, una empresa de análisis de *blockchain* que investiga criptomonedas y plataformas digitales [11, 12].

De esta manera, para formar el grafo primeramente se utiliza dicho listado (donde los nodos representan direcciones o entidades y las aristas representan transacciones), se identifican como raíces a las tres direcciones con mayor *out-degree* (más activas) y, desde cada una, se ejecuta un recorrido BFS (algoritmo *Breadth-First Search*) para obtener subgrafos jerárquicos organizados en capas de alcance. Sobre esa base se aplican operadores genéticos: mutación, que agrega nuevas ramas a nodos seleccionados por probabilidad (método de ruleta o uniforme) alterando la estructura base, y *crossover*, que conecta hojas de clústeres diferentes creando nodos hijos que representan potenciales vínculos entre grupos separados.

A continuación, se calcula un *layout* de tipo radial y recursivo: ubicando las raíces sobre un anillo con apertura angular decreciente y los descendientes en abanicos sucesivos ajustada a distancia en base al valor de la transacción. El resultado son tres “árboles” legibles y simétricos, con suficiente espacio visual para reconocer con claridad las capas y los vínculos entre clústeres. De esta manera, en conjunto obtenemos una red fractal representativa de las transacciones de Bitcoin que permitirá analizar comportamientos, así como visualizar potenciales anomalías y relaciones.

**Implementación y aplicación**

Una vez seleccionadas las tres direcciones más emisoras, BFS visita sus vecinos a un salto (destinatarios directos), luego a dos saltos, y así sucesivamente, formando capas jerárquicas alrededor de cada raíz [13]. De este modo, construimos por clúster un subgrafo que refleja el alcance de ese actor. Este recorrido es apropiado porque responde exactamente a la pregunta “¿a quiénes impacta este emisor y hasta cuántos saltos?” y, además, permite controlar el tamaño con límites (número máximo de nodos y profundidad), evitando explosiones que harían ilegible la figura.

De esta manera, los nodos se ubican siguiendo un *layout* fractal que parte de tres raíces colocadas de forma equidistante. Desde cada raíz, los hijos se distribuyen en abanico con un ángulo que disminuye en cada nivel y una distancia radial proporcional al valor hipotético de la transacción. Esta repetición de reglas genera autosimilitud, donde la estructura de una rama refleja la del árbol completo, facilitando la lectura jerárquica sin solapamientos.

Sobre esa base real añadimos características evolutivas: mutación, que inserta pequeñas ramificaciones naranjas en nodos simulando reactivaciones o movimientos atípicos de fondos desde una dirección, y *crossover*, que crea nodos rojos ubicados a mitad de camino entre dos hojas de clústeres distintos representando transferencias entre clústeres (puentes). Ambos operadores se dosifican (% de probabilidad) para acentuar fractalidad sin

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tapar lo real y son constructos que permiten simular y señalar casos dignos de análisis, pero no parten de datos reales puesto que la fuente utilizada (Elliptic) no incluye estas contemplaciones.

**Resultados**

El planteo inicial apuntaba a que, a medida que se representara, el algoritmo pudiera generar una disposición de la red Bitcoin con una estética y organización cercana a estructuras fractales, maximizando la legibilidad de clústeres y la claridad de rutas entre nodos.

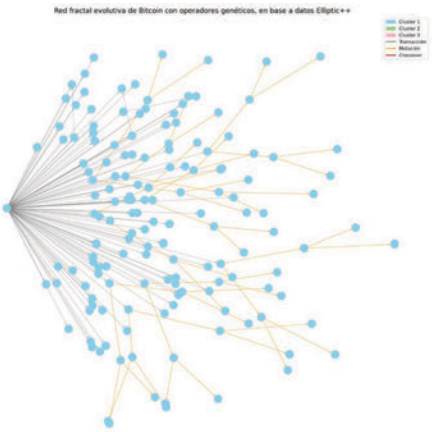


Figura 3. Representación generada por el programa, con 1 clúster (experimentación no representativa).

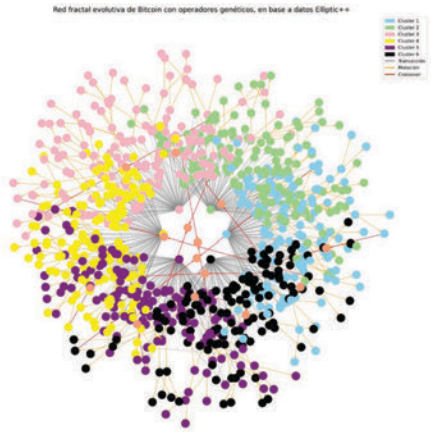


Figura 4. Representación generada por el programa, con 6 clústeres (experimentación no representativa).

Al experimentar con el programa desarrollado, se debió definir la cantidad ideal de clústeres (por ende, de nodos raíz) a representar. Demostrando que un solo clúster era poco representativo y no permite obtener conclusiones contundentes, y que seis clústeres eran difíciles de analizar debido a la complejidad de la imagen obtenida, se concluyó que el caso ideal es definir tres clústeres. Esto permite evaluar el comportamiento del algoritmo desarrollado en un caso cercano a la realidad, sin llevar el estudio a una complejidad demasiado elevada.

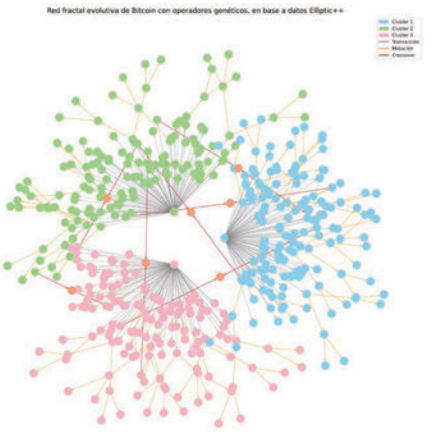


Figura 5. Representación generada por el programa, con 3 clústeres (utilizada para el caso de estudio).

El resultado final son tres árboles claros, con aire suficiente para identificar la expansión del valor y los vínculos entre grupos. A nivel fractal, la figura resultante exhibe autosimilitud porque el posicionamiento de hijos repite la misma regla en todos los niveles (mismo abanico y contracción), generando patrones semejantes a distintas escalas propios de un árbol recursivo. Además, hay una invarianza cualitativa: si uno recorta un clúster y se acerca a una rama, la forma local se parece a la global.

En síntesis, la fractalidad resultante es geométrica o visual más que "matemáticamente pura", lo cual resulta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aceptable al trabajar con datos reales y útil para el caso en estudio. Es decir, el método es capaz de mejorar la organización y resaltar patrones jerárquicos, aunque la similitud con un fractal perfecto no siempre es alcanzable debido a la naturaleza caótica e irregular de la red real.

**Conclusiones**

El proyecto demuestra que mediante una combinación de distribución fractal y operadores genéticos se puede ofrecer una vista coherente y representativa de una red de datos reales como Bitcoin. La estrategia utilizada está alineada con los conceptos en estudio (algoritmos genéticos, arte generativo y fractales) y con el objetivo del proyecto: hacer interpretable la complejidad de la red.

En la práctica, el desarrollo resulta útil para la exploración previa a tareas más finas (como el etiquetado de nodos o la verificación de posibles fraudes) al permitir identificar emisores dominantes, medir actividad y alcances por niveles, y detectar conexiones o patrones de comportamiento fuera de lo habitual. La combinación de distribución fractal y operadores genéticos convierte la complejidad en modelos visuales, facilitando la lectura de la red.

El principal desafío hallado radica en la complejidad y escala de la red Bitcoin, cuya topología no sigue estrictamente una geometría fractal y cuya evolución depende de un flujo constante y masivo de transacciones. La elección de trabajar con un subconjunto de datos (por limitaciones de tiempo y recursos computacionales) introduce inevitablemente sesgos y reduce la capacidad del modelo para generalizar patrones, sumado a que el modelo no contempla los valores reales de las transacciones ni información temporal, lo que limita el análisis financiero o cronológico. Además, el hecho de que Bitcoin procese millones de transacciones por día genera un volumen de nodos y conexiones extremadamente costoso de procesar y visualizar en su totalidad, especialmente si se busca identificar clústeres o patrones en tiempo real.

Estas limitaciones técnicas obligan a trabajar con simplificaciones que pueden ocultar ciertos comportamientos y exponen que la red real de transacciones no sigue un patrón fractal perfecto. Aun así, la metodología demostró ser adaptable a fuentes reales y abre la puerta a aplicaciones futuras: con suficiente capacidad computacional y los parámetros correctos, podría implementarse en sistemas de monitoreo para detectar comportamientos sospechosos, rastrear fondos robados o identificar patrones ilícitos en grandes volúmenes de datos.

**Agradecimientos**

A la catedra “Algoritmos Genéticos” de la Universidad, en especial a los profesores Ing. Diaz Daniela y Ing. Lombardo Víctor, por su incentivo para el desarrollo de este trabajo.

**Referencias**

[1] Akcora, C. G., Dixon, H., Gel, Y. R., & Kantarcioglu, M. (2018). Blockchain: A graph primer. arXiv preprint arXiv:1806.10395. https://arxiv.org/pdf/1708.08749

[2] Jungnickel, D., & Leipert, S. (2000). A genetic algorithm for drawing graphs. Information Sciences, 123(1–2), 83–94. https://ialab.it.monash.edu/~mwybrow/papers/dwyer-gd-2006.pdf

[3] Dwyer, T., Marriott, K., & Wybrow, M. (2006). Integrating edge routing into force-directed layout. In Graph Drawing (pp. 8–19). Springer.

[4] Chen Z., Yong G. (2017). Graph-based analysis of Bitcoin transactions. Hal Science. https://inria.hal.science/hal-01449078v1/preview/978-3-319-24123-4_5_Chapter.pdf

[5] Lischke, M., & Fabian, B. (2016). Analyzing the Bitcoin network: The first four years. Future Internet, 8(1), 7. https://doi.org/10.3390/fi8010007

[6] Kondor, D., Pósfai, M., Csabai, I., & Vattay, G. (2014). Do the rich get richer? An empirical analysis of the Bitcoin transaction network. PLoS ONE, 9(2), e86197.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0086197

[7] Song, C., Havlin, S., & Makse, H. A. (2005). Self-similarity of complex networks. Nature, 433(7024), 392–395. https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0503078

[8] Gallos, L. K., Song, C., Havlin, S., & Makse, H. A. (2007). Scaling theory of transport in complex biological networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(19), 7746–7751. https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0700250104

[9] Fortin, F. A., De Rainville, F. M., Gardner, M. A., Parizeau, M., & Gagné, C. (2012). DEAP: Distributed Evolutionary Algorithms in Python. https://deap.readthedocs.io/en/master/

[10] Hagberg, A., Schult, D., & Swart, P. (2024). NetworkX documentation (Version 3.x). https://networkx.org/documentation/stable/reference/index.html

[11] Elliptic. (2020). The Elliptic Data Set: Opening up machine learning on the blockchain. https://medium.com/elliptic/the-elliptic-data-set-opening-up-machine-learning-on-the-blockchain-e0a343d99a14

[12] Elliptic Dataset. (2019). Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/ellipticco/elliptic-data-set

[13] Olimpiada Informática Argentina. (2024). BFS - Algoritmos OIA. https://wiki.oia.unsam.edu.ar/algoritmos-oia/grafos/bfs

**Datos de Contacto**

*Alexis Mercé. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario.*
*alexis.am.2001@gmail.com*

*Bruno Neirotti. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario.*
*bneirotti@gmail.com*

*Mateo Sebben. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario.*
*mateosebben114@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Software de apoyo al peritaje documentológico

**Giovanelli, Franco; Lecaro, Franco;
Prieto, Tomas; Torinetti Tomas;
Romero Lorenzo; Aguilera Facundo;
Méndez-Garabetti, Miguel**

***Universidad del Aconcagua, Facultad de ciencias administrativas, Carrera Licenciatura en Informática y Desarrollo de Software***

**Abstract**
*En este trabajo abordaremos la temática de la documentología con el software, de forma tal que se le dé un apoyo al perito documentológico al momento de realizar la pericia. El objetivo a en sí es realizar un prototipo con el fin de reconocer formas geométricas utilizando machine learning para poder reconocer los remates de los distintos manuscritos que se le presenten al sistema en forma de fotografía*

**Palabras Clave**
Documentología, Machine Learning, Remates, Apoyo.

## Introducción

El peritaje documentológico constituye un proceso fundamental en el ámbito jurídico, ya que permite analizar la autenticidad y autoría de documentos que pueden tener implicancias legales significativas. Sin embargo, como en muchas disciplinas que requieren observación y juicio experto, este proceso no está exento de posibles errores humanos, ya sea por fatiga, subjetividad o limitaciones técnicas. Ante este escenario, la incorporación de herramientas tecnológicas que asistan al perito se vuelve no solo deseable, sino necesaria para reforzar la objetividad y precisión del análisis.

En este trabajo se presenta un prototipo de software diseñado como herramienta de apoyo al perito documentológico, con el objetivo de asistir en una tarea especifica y relevante dentro de la pericia: la clasificación de los “remates”
o terminaciones en los trazos de escritura del autor. En la Fig.- 1 se presenta un ejemplo de este concepto. Esta característica, relacionada con la morfología de las letras manuscritas, puede aportar información valiosa en estudios de comparación y determinación de autoría.

Para clarificar el objetivo, el profesional podría con este software subir las imágenes de los remates de la escritura que tiene para analizar en su tarea pericial y el software los clasificaría indicándole la forma predominante en los remates presentados.
Para llevar a cabo esta tarea, se propone el uso de técnicas de Machine Learning o aprendizaje de maquina con la tecnología propuesto por Google Teachable Machine [9], y crear mediante esto, un modelo de aprendizaje supervisado capaz de reconocer y clasificar patrones visuales en imágenes digitalizadas de documentos manuscritos. La aplicación se enfoca en analizar si las terminaciones de los trazos presentan formas redondeadas, cuadradas u otras variantes, y permite comparar estas características entre diferentes muestras de escritura. El propósito de este proyecto no es reemplazar el criterio profesional del perito, sino ofrecer una herramienta que contribuya a optimizar su labor, proporcionando un análisis inicial automatizado que puede ser utilizado como complemento dentro del informe pericial. La integración de tecnologías de inteligencia artificial en el campo documentológico abre nuevas posibilidades para mejorar la confiabilidad y eficiencia de estos estudios, particularmente en contextos forenses donde la precisión resulta crucial.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



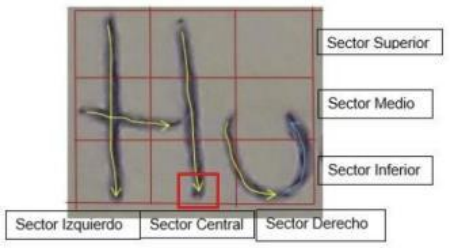



**Fig.1.** Remate de escritura en recuadro rojo

**Desarrollo**

En el presente trabajo proponemos la utilización de Teachable Machine [9], una plataforma desarrollada por Google que permite entrenar modelos de aprendizaje automático. Esta tecnología resulta especialmente adecuada para nuestro proyecto, ya que nos permite entrenar un modelo de clasificación de imágenes que distinga entre terminaciones (remates) de trazos manuscritos, objetivo central del sistema que planteamos. El procedimiento consiste en preparar un conjunto de imágenes previamente recortadas, donde cada imagen representa el extremo final de una letra manuscrita. Estas imágenes se organizan en dos categorías: "terminación redondeada" y "terminación cuadrada". Luego, se cargan en la plataforma de Teachable Machine, que utiliza redes neuronales convolucionales (CNNs) [1] preconfiguradas para entrenar un modelo de clasificación visual basado en estos ejemplos. Una vez entrenado y validado el modelo, la plataforma permite exportarlo en formato compatible con Tensor Flow [10], lo que nos permitirá integrarlo dentro de una aplicación desarrollada en Python para su posterior análisis, comparación y visualización de resultados. Esta integración tiene como fin asistir en el análisis documentológico, permitiendo comparar múltiples imágenes de letras manuscritas y determinar cuántas presentan coincidencias o diferencias en la forma de sus terminaciones. La elección de esta herramienta responde a criterios de accesibilidad técnica, rapidez de implementación y flexibilidad para futuras adaptaciones, lo cual la convierte en una solución viable y eficaz para alcanzar los objetivos del presente proyecto.

Adentrándonos en el estado actual del trabajo, presentamos a continuación la implementación y resultados obtenidos hasta la fecha. Se observa en la Fig.- 2 la aplicación en su menú principal con todas las opciones de "Abrir Imagen" donde el usuario/profesional podría cargar la imagen del remate a determinar su forma, "Analizar" en donde el sistema a través del modelo de machine learning detecta la forma del remate, y la opción "Limpiar" para continuar con otra imagen. Debajo de las opciones detalladas tenemos una sección de resultados, en donde se dictamina la forma que el modelo encontró mas acorde a la imagen presentada Y finalmente, una sección denominada "Detalle por clase" que son los porcentajes de confiabilidad que presenta el modelo de acuerdo a que tan seguro esta de que la forma elegida.

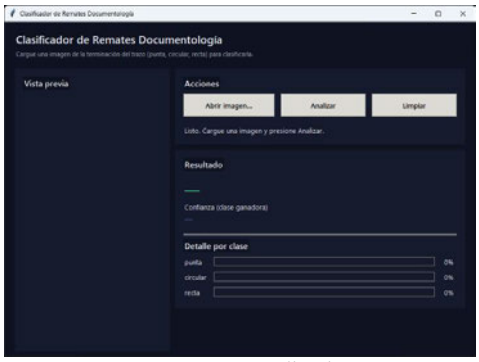



**Fig.2.** Menú aplicación

A continuación, presentamos el modelo funcionando con una imagen cargada como se ve en la Fig.- 3, para esto usamos imágenes de prueba dibujadas por nosotros para simular un remate, a fines prácticos es similar, previamente al modelo lo entrenamos y alimentamos con muchas imágenes similares para que tenga noción de que significa que un remate sea con forma "punta", "circular" o "recta"

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



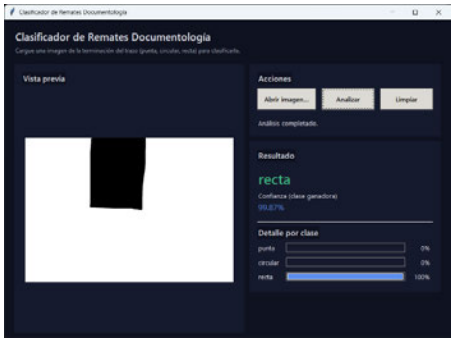



**Fig.3.** Prueba remate recto

Como tareas siguientes nos proponemos a cambiar la base de imágenes utilizadas para entrenar al modelo y las imágenes puestas a analizar por unas de remates reales manuscritos. Para ello, necesitamos acceso al laboratorio de la universidad y el uso de una lupa binocular que nos permita hacer fotografías de calidad y con aumento, como también suficientes ejemplos manuscritos de remates reales.

**Trabajos Relacionados**

En el ámbito del reconocimiento de imágenes mediante técnicas de Machine Learning, se han desarrollado diversos trabajos que aportan enfoques complementarios y herramientas valiosas para investigaciones relacionadas con la detección de patronesvisuales en manuscritos. Uno de estos trabajos es el titulado "Algoritmo de machine learning en el reconocimiento de imágenes", el cual se centra en el uso de Redes Neuronales Convolucionales (CNNs) [1] para analizar imágenes. Este estudio abarca desde la recopilación de datos hasta la evaluación del modelo, utilizando datasets como MNIST[2]. Aunque no se enfoca específicamente en formas geométricas, proporciona una base sólida sobre como implementar modelos de aprendizaje profundo en la interpretación visual, resultando útil para proyectos que requieran detectar patrones visuales en manuscritos.[3]

Complementando este enfoque, el artículo "Estudio comparativo de algoritmos para el reconocimiento de dígitos manuscritos" presenta una evaluación de distintos algoritmos de clasificación —como KNN [4] , SVM [5] y CNN— aplicados también sobre la base de datos MNIST [2]. Este trabajo analiza aspectos como la exactitud, el tiempo de ejecución y el consumo de memoria, con el objetivo de determinar el modelo más eficiente para ser implementado en una aplicación móvil destinada a asistir a personas sordociegas. Su relevancia se manifiesta especialmente en proyectos vinculados a la visión por computadora y el aprendizaje automático, donde la elección del algoritmo adecuado es crucial para el rendimiento del sistema.[6]

Finalmente, el trabajo titulado "Sistema web para análisis grafológico basado en Machine Learning" desarrolla una aplicación web que emplea la red neuronal InceptionV3 [7] para analizar firmas manuscritas y sugerir perfiles laborales en función del temperamento. Este sistema extrae características como la forma de las letras y los trazos para clasificar las firmas, combinando el procesamiento de imágenes con técnicas de machine learning. Este enfoque resulta particularmente útil para investigaciones orientadas a la detección de formas en manuscritos, ya que aplica redes neuronales a elementos visuales concretos y específicos.[8]

En conjunto, estos antecedentes ofrecen una perspectiva amplia y enriquecedora sobre el uso del aprendizaje automático en el reconocimiento de patrones visuales, destacando su aplicabilidad tanto en el análisis grafológico como en la asistencia tecnológica y la clasificación de imágenes manuscritas.

Aun así, aclaramos que no existen antecedentes cercanos a la temática abordada en este trabajo, ya que no implementan la misma tecnología, ni tampoco junto con el enfoque a la documentología clásica.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Conclusiones

En conclusión, nos proponemos evaluar en qué medida un sistema basado en técnicas de machine learning puede asistir al profesional Documentólogo en el proceso de determinación de la autoría de documentos manuscritos, analizando su precisión, utilidad práctica y potencial de integración como herramienta de apoyo en pericias documentológicas.

Para culminar nos proponemos que el proyecto alcance las siguientes metas:

Que el software sea capaz de reconocer los remates de la escritura, que los catalogue en formas geométricas como se hace en la documentología clásica, que sea un asistente para el profesional al momento de realizar una pericia documentológica.

Como trabajo futuro, se planea expandir el conjunto de datos, refinar el modelo y realizar pruebas de validación con peritos profesionales para medir el impacto real de la herramienta.

**Referencias**

1. Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” Nature, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015. Explica el funcionamiento y aplicaciones de las redes neuronales convolucionales (CNNs).

2. Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, “Gradient-based learning applied to document recognition,” Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324, 1998.

3. Y. Conde Bernal, S. Lazcano Salas, M. Quintana López, S. J. Morales Escobar, and A. López Chau, “Estudio comparativo de algoritmos para el reconocimiento de dígitos manuscritos. caso: Mnist,” Recibe, vol. 12, no. 2, p. 20, 2024.

4. IBM, “k-nearest neighbors (knn).” IBMThink article, disponible en https://www.ibm.com/think/topics/knn, 2025. Consultado en agosto de 2025. Explica el algoritmo KNN en clasificación y regresión, enfoque supervisado no paramétrico basado en proximidad.

5. Scikit-learn Contributors, “Support vector machines (svm).” Documentación oficial de Scikit- learn, disponible en https://scikitlearn.org/stable/modules/svm.html, 2025. Consultado en agosto de 2025. Describe el uso de SVM para clasificación, regresión y detección de anomalías en Scikit-learn.

6. D. N. Quinto Rodriguez, “Algoritmo de machine learning en el reconocimiento de imágenes,” Master’s thesis, Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Ecuador, 2024.

7. S. Gupta, “Inception v3 model.” Conjunto de datos en Kaggle, disponible en https://www.kaggle.com/datasets/imsparsh/inception-v3-model, 2018. Consultado en agosto de 2025. Conjunto de datos con un modelo preentrenado de Inception V3 para clasificación de imágenes en 1000 categorías.

8. R. S. C. Vila˜na, “Sistema web para análisis grafológico basado en machine learning,” Master’s thesis, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería de Sistemas Informáticos y de Computación, Quito, Ecuador, 2024.

9. Google, “Teachable machine: Train a computer to recognize your own images, sounds, & poses.” https://teachablemachine.withgoogle.com/, 2025. Consultado en agosto de 2025. Plataforma accesible para entrenar modelos de ML sin escribir codigo.

10. M. A. et al, “TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems.” arXiv preprint arXiv:1603.04467, 2016. Framework utilizado para implementar y desplegar modelos de aprendizaje profundo

**Datos de Contacto:**

*Franco Lecaro. Universidad del Aconcagua. francolecaro2020@gmail.com.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ¿Por qué muchos videojuegos modernos no están bien optimizados?

***Asemborn Franco Agustín, Amigo Rafael Alejandro, Méndez Santiago Ariel, Artola Juan Francisco, Aranda Valentín Andrés, Álvarez Cristian Ezequiel, Astorga Mario Patricio***

***Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay***

**Abstract**

*El proyecto analiza los videojuegos modernos y su problemática en el consumo excesivo de recursos sin hacerlo de manera eficiente, lo que provoca malas experiencias en los usuarios [4]. Se realiza un estudio acerca de cómo las empresas se apresuran a lanzar productos incompletos o mal optimizados [12]. La investigación busca identificar causas y consecuencias sobre esta problemática, además de ofrecer una conclusión al respecto.*

*Para realizar tal análisis, hemos decidido encuestar a un grupo diverso de personas, considerando factores tales como: el nivel de conocimiento y la gama de computadora que utiliza cada uno, con el objetivo de obtener una visión más completa sobre el panorama.*

*Creemos que no se debe sucumbir ante la presión mediática o la de un público particular. Justamente, para que genere una experiencia agradable, más allá de tener vistas atractivas o buen sonido envolvente, debería tener más relevancia el centrarse en cómo diferentes plataformas corran el juego. Por ejemplo: ¿qué tan efectivos son los componentes de la computadora del usuario frente al cúmulo de información y los archivos del juego en particular? No solo se debe ofrecer exclusividad para aquel usuario que dispone de la mejor gama de computadora del mercado actual. La idea prima es la inclusión del usuario en común.*

**Palabras claves**

*Optimización de videojuegos, rendimiento, experiencia del usuario, desarrollo de videojuegos, FPS, frametime, escalado de resolución, DLSS, FSR.*

## Introducción

El presente proyecto de investigación aborda una de las problemáticas más recientes en el ámbito del desarrollo del software y, especialmente, del gaming. Tiene que ver con los videojuegos y el vicio de las empresas que los desarrollan de utilizar cada vez más recursos, muchas veces sin aprovecharlos de manera eficiente. Lo que resulta en deficiencias tales como: mal funcionamiento, cierres inesperados, pérdida de datos, tiempos excesivos de carga, consumo desproporcionado de recursos del sistema, entre otros problemas frecuentes [1][2]. Haciendo que, frecuentemente, la experiencia del usuario se vea negativamente afectada [4].

Abordaremos algunos conceptos básicos sobre cómo se mide el rendimiento de un juego, aunque el foco estará puesto en la manera en que las empresas, al estar bajo presión comercial, generalmente priorizan cumplir con las fechas de lanzamiento

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



prefijadas, antes que asegurar la estabilidad y optimización del juego [12]. Lo que conduce a la publicación de productos incompletos, mal optimizados o no suficientemente probados, que no cumplen con los estándares mínimos de calidad.

La idea central es analizar críticamente la problemática e identificar sus causas y consecuencias, desde un punto de vista específico o técnico, además de contar con la experiencia del usuario. Un buen análisis sobre esta problemática nos puede llevar a que se ofrezcan productos más estables, eficientes y disfrutables para el usuario.

**1. Rendimiento**

En el ámbito de los videojuegos, el rendimiento se refiere a la fluidez y la eficacia con la que un título se ejecuta [1]. Este concepto abarca diversos indicadores, siendo uno de los más relevantes la tasa de fotogramas por segundo (FPS), variable que mide cuantas imágenes se generan cada segundo en una secuencia de video [5]. Una tasa de FPS alta es fundamental, ya que ofrece imágenes más fluidas y tiempos de respuesta más rápidos a las acciones del jugador.

Otro parámetro importante es el frametime o tiempo de fotograma, lo cual nos indica la duración de cada fotograma individual. En general, a mayor tasa de FPS, menor será el frametime. Sin embargo, un valor promedio elevado de FPS no garantiza una experiencia fluida si existe una variabilidad significativa entre fotogramas. Por ejemplo, que se muestren 60 FPS es extremadamente beneficioso, pero supongamos que un fotograma se mantiene estático medio segundo, y en el otro medio segundo se consiguen mostrar los otros 59 FPS. Tendremos 60 FPS, pero habremos sufrido un importante tirón (stutter) en el videojuego.

Para ilustrar este punto, se presenta a continuación una representación gráfica de cómo se pueden mostrar 10 FPS, pero con un tiempo de fotograma distinto.

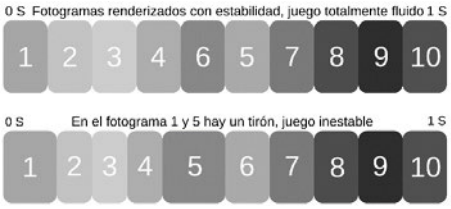



*Figura 1. Frametime*

Si esta irregularidad en la entrega de fotogramas se repite de forma constante, el jugador percibirá graves problemas de rendimiento, con interrupciones en la fluidez visual.

Por ende, una tasa de fotogramas consistente es esencial. El ojo humano puede adaptarse a un valor bajo siempre que este se mantenga estable. Una tasa inestable indica claros problemas de optimización [5].

Otro factor relevante según diversas pruebas comparativas (benchmarks), es el tiempo de carga, entendido como el intervalo que transcurre desde que el usuario inicia el juego hasta que puede interactuar con él. En los videojuegos en línea, la utilización de una red de distribución de contenido (CDN),

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



es una estrategia eficaz para reducir dichos tiempos entre un 30 % y un 50 % [10].

| Infraestructura | Promedio de tiempo de carga (segundos) | Retención del usuario (%) |
|---|---|---|
| Alojamiento tradicional | 6-8 | 0% |
| Alojamiento integrado con CDN | 2-4 | 30 a 45% |

*Tabla 1. Retención de usuarios según el promedio de tiempo de carga.[10]*

## 2. Causas del mal rendimiento

El mal rendimiento puede tener muchas causas, entre ellas: hardware insuficiente, deficiencias en el software, problemas de conexión a internet, o mala optimización. Este trabajo se centrará en esta última [4].

La optimización es un proceso simple en concepto, pero demandante en ejecución. Comienza con la evaluación del sistema en todo su conjunto con el fin de identificar situaciones de bajo rendimiento. Luego, se miden los recursos empleados, se implementa una estrategia para reducir su uso y, finalmente, se repite la medición para determinar si hubo alguna mejora. Si el rendimiento se ha incrementado, se procede a identificar el siguiente cuello de botella y se reinicia el ciclo [1].

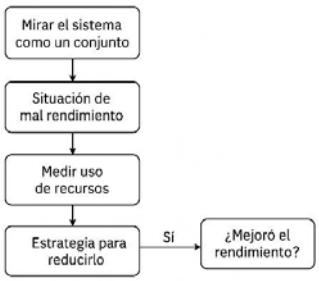



*Figura 2. Diagrama del proceso de optimización.*

## 3. Tecnologías de mejora

La transición de los videojuegos hacia resoluciones más altas ha estado acompañada por la incorporación de efectos visuales más complejos y exigentes, impulsados por la demanda de realismo [2]. Si bien los avances en hardware han podido seguir el ritmo de los avances en fidelidad gráfica en el pasado, en la actualidad esto ya no ocurre de forma proporcional.

Por lo que han surgido tecnologías capaces de renderizar un videojuego a una resolución menor y luego reconstruir y escalar una imagen mediante redes neuronales, logrando así una mayor tasa de fotogramas sin reducir la calidad visual de manera drástica. Esto se conoce como super resolution (SR).

Un buen ejemplo es Deep Learning Super Sampling (DLSS), desarrollado por NVIDIA. Esta tecnología, emplea datos de fotogramas anteriores, vectores de movimiento, el Z-Buffer y parámetros sobre la exposición e iluminación para mejorar el detalle, suavizar bordes y reducir artefactos [3].

Para incrementar aún más la tasa de fotogramas, se introdujo la tecnología

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



optical-flow frame generation, que genera un fotograma artificial entre dos fotogramas reales. Aunque esta técnica mejora el rendimiento, añade latencia, es decir, el retraso entre la acción del usuario y la respuesta correspondiente en pantalla.

Para mitigar este problema, NVIDIA desarrolló Reflex, una tecnología destinada a reducir dicha latencia.

La compañía AMD también desarrolló tecnologías que se asimilan a lo que hizo NVIDIA, siendo FidelityFX Super Resolution (FSR), de la que se está hablando en cuestión. Esta tecnología tiene una similitud con los escaladores tradicionales, ya que toma imágenes producidas por la GPU las cuales son sometidas a algoritmos obteniendo una imagen de mayor resolución como resultado final. A simple vista, parece tener un proceso más sencillo que el de NVIDIA, pero esto no hace que obtenga resultados diferentes.[16] FSR posee un enfoque más general del escalado, por eso se dice que tiene similitudes con los escaladores tradicionales, no posee aprendizaje profundo como DLSS, lo que significa que realiza menos procesos, lo cual resulta en menos potencia de cálculo, menor hardware especial y que sea más compatible con diversos equipos o configuraciones.[17]

## 4. Impacto de la mala optimización

Desde la perspectiva del usuario, la falta de optimización se traduce en: bajo rendimiento, errores visuales, inestabilidad y tiempos de carga prolongados; factores que malogran la experiencia y pueden llevar al abandono del juego [7][8][9].

Para los desarrolladores, estos problemas suelen estar vinculados con pruebas insuficientes, planificación deficiente y plazos de entrega poco realistas, lo que incrementa la carga de trabajo y estrés.

A nivel empresarial, un lanzamiento con problemas de rendimiento puede dañar la reputación de la marca, reducir las ventas, y aumentar los costos de soporte; lo que evidencia que la optimización es un factor crítico [12].

## 5. Casos Reales

Actualmente existen múltiples ejemplos de videojuegos que han presentado fallos relacionados con la optimización deficiente. Se describen a continuación tres casos representativos:

Cyberpunk 2077

Anunciado en 2012 y en desarrollo activo desde 2016, el juego fue lanzado a finales de 2020 para PC, PS4 y Xbox One. Aunque la versión de PC recibió críticas positivas, las ediciones de consolas mostraron un rendimiento deficiente, lo que llevó a su retirada en la PlayStation Store [11]. Esto se debió a que el juego no funcionaba correctamente, debido a caídas de fotogramas y múltiples glitches. Asimismo, CD Project Red pudo resolver el problema y ha recibido varias reseñas positivas por parte de usuarios de Steam [7].

The Last of Us Part I

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En su lanzamiento para PC, los usuarios reportaron baja tasa de FPS, tiempos de carga excesivos, cierres inesperados y uso ineficiente del hardware incluso en equipos de alto rendimiento. A pesar de varios intentos de optimización, el título continúa presentado dificultades para ofrecer una experiencia fluida y estable [8].

Horizon Zero Dawn

En su debut en PC presentó varios problemas, con los sombreadores, la resolución dinámica, entre otras cosas, haciendo que no sea posible jugar en 60 FPS estables con una calidad grafica alta incluso con un hardware de alta gama [9].

## 6. Buenas prácticas

En esta sección se presentan algunas de las prácticas utilizadas en la industria, como la compresión de texturas, el occlusion culling, la programación multihilo y la optimización de shaders. Estas herramientas, combinadas con un monitoreo constante del rendimiento, representan la base para desarrollar una buena experiencia de juego.

La compresión de texturas consiste en codificar los datos en formatos más pequeños, lo que reduce el ancho de banda y la memoria requeridos para su transferencia y almacenamiento. No obstante, puede implicar pérdida de calidad debido a la eliminación de ciertos detalles y colores durante el proceso [13].

El occlusion culling es un método que permite descartar objetos que, aunque se encuentran dentro del view frustum, no son visibles en la imagen final por estar bloqueados por otros elementos [14].

La programación multihilo aprovecha los múltiples núcleos de las CPU modernas, distribuyendo las tareas de forma paralela para aumentar la eficiencia. Una de las formas más sencillas de implementarla es asignar a cada subproceso una tarea independiente [17].

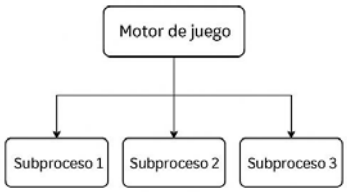



*Figura 6. Diagrama multithreading*

Finalmente, la optimización de shaders es esencial, dado que su procesamiento es intensivo en recursos. Mejorar su eficiencia puede tener un impacto directo y significativo en el rendimiento general del juego.

## 7. El importante papel de las betas y el acceso anticipado

En esta sección desarrollaremos el papel que juegan las betas y los accesos anticipados. Ambas tienen un papel estratégico tanto para los desarrolladores como para la comunidad dentro del desarrollo y lanzamiento de videojuegos. Comencemos por explicar brevemente que es cada una y en que se diferencian.

La beta es una prueba para jugadores previa a un lanzamiento casi listo [15].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El acceso anticipado es un lanzamiento comercial de un juego aún en desarrollo.

Sabiendo esto podemos decir que la beta, por un lado, ayuda a corregir errores antes del lanzamiento oficial, probar servidores en términos de latencia, carga y estabilidad; Feedback de jugabilidad para terminar de pulir ciertos aspectos y en términos de marketing, generar expectativa del producto en la comunidad.

Por otro lado, el acceso anticipado, ayuda a costear el proyecto, a que haya un ida y vuelta entre jugadores y desarrolladores y de la mano de esto contribuye a conformar una comunidad de manera temprana [15][16].

A lo largo de este desarrollo se ha descrito la importancia de la optimización en los videojuegos modernos, analizando conceptos clave, tecnologías emergentes y buenas prácticas que afectan directamente la experiencia del usuario. Se han abordado las causas más habituales de problemas de rendimiento, como también el papel de las pruebas y el acceso anticipado para detectar y corregir fallos.

Al momento de interpretar los resultados, la experiencia del usuario es el primero de los aspectos para considerar. ¿Por qué? Porque es la base de los juegos, del feedback y del modo en que la audiencia recibe el producto. Y en esto tiene relevancia tanto el impacto del mal rendimiento, como el papel de las betas, o cómo el tiempo de carga (Tabla 1) afecta positiva o negativamente al jugador.

Otro aspecto fundamental es el frametime (Figura 1), ya que permite comprender cómo la variación entre un fotograma y otro puede provocar una experiencia inestable.

Del mismo modo que la optimización se refleja también en lo económico, un lanzamiento con fallas de rendimiento puede reducir la confianza en los jugadores, recibir malas críticas y por lo tanto afectar sus ventas.

## 8. Metodología

Se realizó un estudio cuantitativo basado en la percepción y experiencia de los usuarios. El instrumento utilizado fue una encuesta en línea.

Se obtuvo una muestra de 17 participantes, todos ellos jugadores de videojuegos. El cuestionario fue diseñado para recolectar datos sobre:

- **Perfil del jugador:** Plataforma de preferencia y gama del equipo (en caso de jugar en PC).
- **Conocimiento técnico:** Comprensión de términos clave como "tasa de fotogramas por segundo (FPS)" y "glitch".
- **Prioridades del usuario:** Valoración entre rendimiento (FPS estables, tiempos de carga) y calidad gráfica.
- **Comportamiento del consumidor:** Disposición a sacrificar calidad por rendimiento y experiencia con la compra de juegos en acceso anticipado o beta.
- **Percepción del mercado:** Identificación de títulos específicos reconocidos por su mala optimización.

## 9. Resultados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El análisis de la encuesta arrojó los siguientes hallazgos principales:

**Perfil de los Encuestados**

Del total de 17 encuestados, el 100% confirmó jugar videojuegos. La plataforma de preferencia es PC (76.47%), seguido de Playstation (11.76%).

Un dato clave reside en la autopercepción del hardware: de los 12 usuarios de PC que especificaron la gama de su equipo, una mayoría del 58.33% lo considera de "Gama baja", mientras que un 33.33% lo sitúa en "Gama media" y solo un 8.33% en "Gama alta".

**Conocimiento Técnico**

Existe un conocimiento técnico moderado en la muestra. El 64.71% de los participantes sabe qué es la "tasa de fotogramas por segundo", y un 52.94% comprende el término "glitch".

**Prioridades y Percepción del Rendimiento**

La prioridad de los jugadores es clara: al ser consultados sobre qué sacrificio están dispuestos a aceptar para mejorar el rendimiento, el 71.43% de los encuestados eligió "Bajar la calidad gráfica". Las otras opciones, como "Bajar resolución" (14.29%) o usar reescalado (14.29%), fueron significativamente menos populares.

Al valorar los aspectos de un juego, los "FPS estables" y la "Velocidad de respuesta" fueron los elementos más mencionados, superando a la "Calidad gráfica" o los "Tiempos de carga".

**Experiencia del Consumidor**

En cuanto a la participación en fases tempranas de desarrollo, la mayoría de los jugadores se muestran precavidos: 11 de los 17 encuestados (aprox. 64.7%) declararon no haber comprado nunca un juego en acceso anticipado o beta, frente a 5 (aprox. 29.4%) que sí lo han hecho.

Al consultarles por juegos específicos conocidos por su mala optimización, los títulos más mencionados por los participantes fueron "Cyberpunk 2077", "Counter Strike 2", "Tarkov" y entregas recientes de "Call of Duty".

## 10. Trabajos Relacionados

El problema de la mala optimización de videojuegos modernos es un campo amplio de estudio, donde diversas investigaciones proponen soluciones que abarcan desde el hardware hasta metodologías de desarrollo y arquitectura de software. A continuación, se detallan trabajos que han abordado esta problemática.

1. Título: Deep-Learning Realtime Upsampling Techniques in Video Games [3].
   Aporte: Este artículo analiza técnicas como DLSS. Explica cómo las redes neuronales convolucionales se utilizan para escalar imágenes en tiempo real, mejorando la tasa de fotogramas con una pérdida mínima de calidad visual. Esto es

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



fundamental para entender el funcionamiento sobre FSR y DLSS.

2. Título: Occlusion Culling Algorithms: A Comprehensive Survey[14].

   Aporte: Este estudio compara ventajas y desventajas de los distintos métodos, desde los más simples hasta los más complejos que se usan en los motores de juegos modernos. Respalda la idea de que la elección del algoritmo correcto es crucial para el rendimiento.

3. Título: Using Reinforcement Learning for Load Testing of Video Games[18].

   Aporte: Este artículo propone el aprendizaje por refuerzo (Reinforcement Learning) para entrenar a un agente que juega y busca identificar áreas del juego donde se provocan caídas de rendimiento.

**11. Conclusión**

A partir del análisis teórico y los casos reales presentados, queda claro que la optimización de videojuegos modernos no es un detalle secundario, sino un factor que afecta a la experiencia del jugador y la reputación de las empresas. La encuesta realizada a 17 jugadores confirma esta percepción: la mayoría prioriza la fluidez y la estabilidad por encima de los gráficos, y está dispuesta a sacrificar calidad visual con tal de mantener un rendimiento estable.

El 100% de los encuestados juega videojuegos regularmente y más de la mitad lo hace en PC, con equipos de distintas gamas, lo que refleja la diversidad de hardware en el mercado y la necesidad de desarrollar juegos escalables y adaptables. También, la mayoría sabe qué es un glitch o qué significa la tasa de FPS, lo que muestra que los jugadores tienen cada vez mayor conocimiento técnico y son más críticos frente a los problemas de rendimiento.

Un dato interesante es que varios participantes reconocieron haber comprado juegos en acceso anticipado o en beta, lo que valida la importancia de estas etapas como herramientas de optimización. Sin embargo, también se mencionaron títulos conocidos por su mala optimización, como **Cyberpunk 2077**, **Counter Strike 2** y ciertos **Call of Duty recientes**, lo que reafirma que incluso franquicias de gran presupuesto pueden fallar en este aspecto.

Por eso, tanto la teoría como la percepción de los jugadores coinciden: la optimización no debe quedar desplazada frente a las presiones comerciales. Un lanzamiento apresurado puede traducirse en pérdida de usuarios, críticas negativas y daño a largo plazo para la marca. En cambio, invertir en pruebas exhaustivas, tecnologías de mejora y escuchar a la comunidad son prácticas que no solo garantizan mejores productos, sino también una industria más respetada.

Finalmente, el análisis realizado permite comprender la relevancia de la optimización

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en los videojuegos modernos, tanto en la experiencia de usuario como en el éxito del producto. Sin embargo, este estudio abre también posibles líneas futuras de investigación, como el impacto de las nuevas tecnologías gráficas, las pruebas colaborativas mediante el acceso anticipado, y los desafíos de garantizar un rendimiento adecuado en entornos multiplataforma.

**Agradecimientos**

Agradecemos especialmente a la profesora Patricia Cristaldo por su acompañamiento y orientación durante el desarrollo del trabajo, realizado en la **cátedra Sistemas y Procesos de Negocio**.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias**

Parte de la redacción fue revisada y mejorada con la asistencia de ChatGPT.

[1] Ben Garney y Eric Preisz, *Video Game Optimization*, 2010. Disponible en: epdf.pub_video-game-optimization.pdf

[2] Gabriyel Wong y Jianliang Wang, *Real-Time Rendering*, 2014. Disponible en: https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/downloadidentifierName=doi&identifierValue=10.1201/b15498&type=googlepdf

[3] Biruk Mengistu, "*Deep-Learning Realtime Upsampling Techniques in Video Games"*, junio 2023. Disponible en: https://digitalcommons.morris.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1127&context=horizons

[4] Saiqa Aleem, Luiz Fernando Capretz y Faheem Ahmed, "*Empirical Investigation of Key Business Factors for Digital Game Performance"*, 2014. Disponible en: https://arxiv.org/pdf/1511.04422.

[5] Breixo Gómez, "*¿Qué es el frametime y qué tiene que ver con los FPS?"*, 16 octubre 2021. Disponible en: https://www.profesionalreview.com/2021/10/16/frametime/

[6] Codearte, "*Cómo optimizar el rendimiento de tu juego indie"*, 7 marzo 2025. Disponible en: https://codearte.com.ar/como-optimizar-el-rendimiento-de-tu-videojuego-indie/

[7] "Aquí tienes un curso intensivo sobre lo que salió mal en Cyberpunk 2077" Disponible en: https://www.gq.com.au/culture/entertainment/heres-a-crash-course-on-whats-gone-wrong-with-cyberpunk-2077/news-story/0b89dd2b18e145b4fce2b3723338ac83

[8] Xataka, *The Last of Us Parte I para PC se llena de reseñas negativas en Steam: el port decepciona y eclipsa el prestigio del juego"*, 9 marzo 2023. Disponible en: https://www.xataka.com/videojuegos/the-last-of-us-parte-i-para-pc-se-llena-resenas-negativas-steam-port-decepciona-eclipsa-prestigio-juego.

[9] "*Horizon Zero Dawn, el juego debuta en PC con problemas de rendimiento"*, 9 agosto 2020. Disponible en: https://www.profesionalreview.com/2020/08/09/horizon-zero-dawn-problemas-rendimiento/

[10] "*The Impact of CDN on Game Load Times and User Retention"*, 14 marzo 2025. Disponible en: https://blog.blazingcdn.com/en-us/the-impact-of-cdn-on-game-load-times-and-user-retention

[11] Vandal, "*CD Projekt da por terminado Cyberpunk 2077: por primera vez en 10 años no hay nadie trabajando en el juego"*, 29 mayo 2024. Disponible en: https://vandal.elespanol.com/noticia/1350771645/cd-projekt-da-por-terminado-cyberpunk-2077-por-primera-vez-en-10-anos-no-hay-nadie-ya-trabajando-en-el-juego/

[12] Michael Washburn Jr., Pavithra Sathiyanarayanan, Meiyappan Nagappan, Thomas Zimmermann y Christian Bird, "*"What Went Right and What Went Wrong": An Analysis of 155 Postmortems from Game Development"*, 2016. Disponible en: https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/06/washburn-icse-2016-2.pdf

[13] "*¿Cómo se utiliza la compresión de texturas para reducir los tiempos de carga del juego?"* Disponible en: https://www.linkedin.com/advice/0/how-do-you-use-texture-compression-reduce-game-0fmrc?lang=es&originalSubdomain=es

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[14] "Occlusion Culling Algorithms". Disponible en: https://www.gamedeveloper.com/programming/occlusion-culling-algorithms

[15] Steamworks, "*Acceso anticipado"*. Disponible en: https://partner.steamgames.com/doc/store/earlyaccess

[16] Corsair, "*DLSS vs FSR: ¿Cuál es mejor?"* Disponible en: https://www.corsair.com/es/es/explorer/gamer/gaming-pcs/dlss-vs-fsr-which-is-better/

[17] Vulkan guide, "Multithreading Overview". Disponible en: https://vkguide.dev/docs/extra-chapter/multithreading/

[18] Rosalia Tufano, Simone Scalabrino, Luca Pascarella, Emad Aghajani, Rocco Oliveto, Gabriele Bavota, "Using Reinforcement Learning for Load Testing of Video Games". Disponible en: https://arxiv.org/pdf/2201.06865

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aprendizaje y democratización del automovilismo a través de los simuladores de conducción

**Le Donne Juan Manuel, Lanterna Axel José, Leguiza Scandizzo Agustina, Laumann Lorenzo Benjamín, Jacquement Santino Luis, Lamarca Juan Lucca Jesús**

**Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay**

**Abstract**

*El automovilismo tradicional presenta importantes barreras económicas y de accesibilidad que limitan la participación de jóvenes interesados en este deporte. En respuesta a estas restricciones, los simuladores de conducción han emergido como una alternativa tecnológica que combina realismo, menores costos y un entorno seguro, con aplicaciones pedagógicas y competitivas. Este trabajo analiza el funcionamiento de los simuladores y sus aportes en múltiples dimensiones: seguridad, economía, continuidad de la práctica, adquisición de habilidades cognitivas y democratización del acceso al automovilismo.*

*Así mismo, se examinan sus limitaciones técnicas y pedagógicas, entre ellas fallos de rendimiento, riesgo de favorecer conductas repetitivas o agresivas debido a la ausencia de consecuencias reales, y la necesidad de conocimientos previos en mecánica automotriz y hardware informático para su óptima utilización.*

*Se incluyen casos relevantes que evidencian la transferencia de competencias adquiridas en simuladores hacia el automovilismo real, así como experiencias que muestran su papel en procesos de profesionalización. Además se aborda su consolidación durante la pandemia de COVID-19, cuando se afianzaron como disciplina paralela y espacio competitivo en un contexto de suspensión del automovilismo físico.*

*Los resultados sugieren que, aunque los simuladores no sustituyen la práctica en pista, constituyen una herramienta parcial pero significativa: amplían el acceso al deporte, favorecen la información inicial de pilotos y ofrecen un entorno competitivo seguro y de bajo costo. Sin embargo, sus limitaciones técnicas y pedagógicas deben ser consideradas para evitar una sobrevaloración de sus alcances y comprender su verdadero rol como complemento, y no sustituto, del automovilismo real.*

**Palabras clave**

Automovilismo, Videojuegos de simulación, Simracing, Aprendizaje juvenil, Accesibilidad, Tecnología educativa, Competitividad virtual.

## Introducción

El automovilismo es uno de los deportes más complejos, costosos y poco accesibles existentes. [1] Incluso en las categorías más bajas y locales conllevan presupuestos altos, acortando la accesibilidad al mismo y la posibilidad de competir para el sector interesado, sobre todo la población juvenil. Gracias a los avances tecnológicos, actualmente existe una posible alternativa, los videojuegos de simulación de conducción. Programas diseñados con fines de entretenimiento que recrean de forma virtual la experiencia de un piloto de carreras perteneciente a una determinada categoría dentro del automovilismo. Para obtener una experiencia más inmersiva, suelen utilizarse simuladores de conducción compuestos por hardware especializado y periféricos que permiten una interacción más realista por parte del usuario con el software. Sin embargo, se enfocará en el análisis de esta tecnología independientemente de los periféricos que el usuario decida emplear.

En este marco, el presente trabajo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tiene como objetivo analizar esta alternativa, su funcionamiento, ventajas y sus desventajas, cómo se encuentra en el contexto de la era digital que transcurre en la actualidad y los cambios que produjo en el automovilismo, junto a casos específicos para el correspondiente análisis de la competitividad que se ha desarrollado dentro de este y las oportunidades que ha otorgado a la comunidad juvenil interesada en el automovilismo. En consecuencia, se estructura el trabajo de la siguiente forma: En la sección 1, se describe en mayor profundidad el problema de la accesibilidad al automovilismo, principalmente para los jóvenes interesados en el mismo.
Luego, en la sección 2, se presenta el funcionamiento (sección 2.1), ventajas (sección 2.2) y desventajas (sección 2.3) junto con su análisis respectivo (sección 2.4), de los videojuegos de simulación automovilística.
Como cierre, se ofrecerán las conclusiones y reflexiones obtenidas conforme al desarrollo realizado.

## 1. El problema de la accesibilidad

Actualmente, el automovilismo es uno de los deportes más costosos de practicar, debido a que el mantenimiento del vehículo, las herramientas y el equipo necesario para competir requieren una inversión económica muy elevada. Esto lo hace poco accesible, especialmente para los jóvenes interesados en esta disciplina. Se necesita un vehículo con características acordes al campeonato en el que se desea participar, así como un equipo encargado de la gestión del equipamiento y el mantenimiento del automóvil. Además, están los viajes necesarios para presentarse en las pistas donde se desarrollan los torneos, sin contar las prácticas indispensables para adquirir la experiencia requerida para la competición. Esta situación dificulta que muchas personas puedan iniciar su carrera en categorías locales o nacionales, las cuales les permitirían posteriormente ascender a competiciones internacionales o mundiales bajo contrato de una escudería. Por ejemplo, si se dividen los costos financieros por niveles (de menor a mayor) de acuerdo con las categorías del automovilismo, quedarían de la siguiente forma:

| ***Costos de categorías del Automovilismo Real*** | |
|---|---|
| ***Competencias*** | ***Costos (USD)*** |
| *Karting* | *$4,000.00-$10,000.00* |
| *Club Racing* | *$8,000.00-$15,000.00* |
| *TRC UK* | *$100,000.00* |
| *Fórmula 4* | *$150,000.00-$200,000.00* |
| *Porsche Cup* | *$300,000.00-$750,000.00* |

*Tabla 1. Costos de diferentes categorías determinadas del automovilismo. (2025)*

[2][3] [4][5][6]

Se puede observar que el automovilismo impone barreras financieras elevadas que afectan especialmente a jóvenes talentos sin respaldo económico. Mientras el karting permite un acceso inicial (a pesar de que no asequible para todos), la transición hacia categorías profesionales requiere inversiones que solo unos pocos pueden sostener. En consecuencia, la brecha entre la pasión por competir y la capacidad de hacerlo profesionalmente es enorme, incluso desde niveles que les permitirían aspirar a competiciones internacionales.

## 2. La alternativa que la tecnología aporta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En este apartado, principalmente, se describe en la sección 2.1 los softwares que la tecnología aporta como una posible alternativa ante este problema previamente mencionado, de modo que posteriormente se analizará en la sección 2.2 sus ventajas clasificadas en los diferentes aspectos en que benefician al usuario. Asimismo, se presentarán las desventajas o carencias a mejorar que poseen (sección 2.3) para tener en cuenta, y permitir reflexionar, a partir de la información presentada, si esta alternativa vale la pena (sección 2.4).

### 2.1. Videojuegos de simulación automovilística.

El avance tecnológico ha facilitado la creación de videojuegos de simulación de conducción que replican con gran precisión técnica la experiencia de competir en la realidad. Estos ambientes digitales, basados en motores de simulación física, sistemas gráficos sofisticados e interfaces de gran exactitud, proporcionan una experiencia educativa, técnica y competitiva con costos iniciales notablemente inferiores, y por ende más accesibles para el sector juvenil.
Los simuladores de conducción más realistas para computadoras fusionan motores físicos exactos y mapas de pistas a través de escaneo láser. Por ejemplo, Assetto Corsa emplea una simulación minuciosa de neumáticos, escaneo láser de circuitos, así como soporte para la realidad virtual y múltiples monitores para una experiencia más inmersiva [6]. Como también, iRacing se basa en pistas y vehículos escaneados en 3D, ciclos de día y noche dinámicos, condiciones meteorológicas realistas y telemetría sofisticada [7]. Además, plataformas como rFactor 2 se han creado específicamente para el entrenamiento profesional, empleando modelos de armazón flexible, física de vanguardia, sistemas de desgaste y aerodinámica auténticos empleados por escuderías reales. [8]

El uso de simuladores de conducción ha tenido una relevancia progresiva en los últimos años, consolidándose, como una alternativa tecnológica viable frente a los métodos de aprendizaje tradicionales. Este método comprende una combinación de factores técnicos, económicos y pedagógicos, que producen resultados eficaces, especialmente en donde se tiene como prioridad la seguridad, la accesibilidad y la optimización de recursos.

Un estudio realizado en la Universidad de Valencia, a través del Instituto de Robótica y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, al que se tituló Effectiveness of Driving Simulators for Driver's Training, analizó 20 estudios internacionales que evaluaron la eficacia de los simuladores de conducción en la formación de conductores. Se concluyó que esta tecnología mejora de forma notable el rendimiento de los usuarios, los cuales cometieron menos errores, hubo un mejor desempeño respecto a las normas de tránsito y reaccionaron con mayor eficacia ante situaciones de riesgo, como fallas en el vehículo o situaciones climáticas. [9]

### 2.2. ¿Cuál es su impacto?

#### 2.2.1. Evaluación objetiva mediante telemetría

Los simuladores proporcionan también la posibilidad de recopilar datos precisos sobre el rendimiento del usuario, tales como la velocidad, el uso de pedales, el trazado de ruta y los tiempos de reacción. Esta información

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



se convierte en una herramienta fundamental para los instructores, quienes logran evaluar de forma objetiva el desempeño de los conductores. La Universidad de Valencia sostiene que cuanto más realista es el simulador, mayor es su eficacia en la formación, lo que refuerza la utilidad de estas métricas para la enseñanza y el perfeccionamiento de habilidades. [9]

#### 2.2.2. Impacto en materia de seguridad

Una de las principales ventajas que ofrece esta tecnología es la seguridad. Al desarrollarse en un entorno virtual, los usuarios pueden exponerse a distintas situaciones de riesgo, como maniobras evasivas o frenadas de emergencia, sin que esto implique amenazas a la integridad física o daños materiales. Esto posibilita que la persona experimente escenarios de alta complejidad sin derivar en consecuencias perjudiciales, lo cual resulta especialmente útil para conductores inexpertos que podrían comprometer la seguridad vial, o en ámbitos competitivos donde el riesgo es mayor. [10]

#### 2.2.3. Realismo y adaptabilidad del entorno virtual

Otra ventaja destacada es la capacidad de los simuladores para recrear condiciones diversas y complejas, tales como maniobras técnicas, variaciones meteorológicas, tráfico intenso e incluso problemas mecánicos. Todo esto se desarrolla en un espacio controlado, sin limitar la cantidad de intentos que el usuario pueda realizar.
De esta manera, se favorece un aprendizaje progresivo y adaptado a las necesidades de cada persona, permitiendo que el proceso formativo sea más flexible y efectivo. [11]

#### 2.2.4. Impacto económico

Desde el aspecto económico, el simracing representa una alternativa significativamente más accesible que el automovilismo real. Si bien la inversión inicial puede incluir hardware como volante, pedales, cockpit, pantallas o gafas de realidad virtual, además del software de simulación. Los costos resultan considerablemente menores que los de un vehículo de competición. Por ejemplo, un set básico compuesto por un volante Logitech G29 y pedales puede encontrarse entre 200 y 230 dólares, mientras que un cockpit sencillo ronda los 230 dólares y un videojuego de simulación entre 20 y 60 dólares. En niveles medios, un volante Fanatec CCL DD Ready2Race alcanza los 500 dólares, acompañado de un cockpit más avanzado por 300 dólares y un sistema de triple monitor que puede costar entre 800 y 1000 dólares. En niveles profesionales, las inversiones ascienden, pero incluso el equipamiento más sofisticado —bases Direct Drive, pedales de alta precisión, estructuras de aluminio Sim-Lab y sistemas de visualización de última generación— se sitúan entre 4000 y 7000 dólares, muy por debajo de los gastos de mantenimiento y adquisición de un coche de carreras real.
Esta diferencia convierte al simracing en una alternativa viable para quienes no tienen acceso al automovilismo físico, al tiempo que ofrece una plataforma de entrenamiento competitivo. [11][12][13][14][15][16][17]

| *Nivel* | *Componente* | *Ejemplo* | *Precio (USD)* |
|---|---|---|---|

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | |
|---|---|---|---|
| *Básico* | *Volante + Pedales* | *Logitech g29* | *$200-$230* |
| | *Cockpit / Soporte* | *Next level racing GT-Line Lite* | *$230* |
| | *Juego Base* | *Assetto Corsa* | *$20-$60* |
| *Medio* | *Volante* | *Fanatec CCL DD Ready2Race* | *$500* |
| | *Cockpit* | *Next level racing GT-Line Pro* | *$300* |
| | *Monitores* | *Triple pantalla* | *$800-$1000* |
| *Experto* | *Base Direct Drive* | *Fanatec V2.5/ Asetek R16* | *$800-$1500* |
| | *Pedales* | *Heusinkveld* | *$700* |
| | *Cockpit* | *Perfil de aluminio Sim-Lab* | *$600-$1100* |
| | *Monitores/ VR/ PC* | *Triple monitor, VR o PC gamer de gama alta* | *$1500-$3500* |

*Tabla 2. Comparación de los costos del simracing en sus diferentes niveles (2025)*

### 2.2.5. Continuidad deportiva y expansión durante la pandemia

La pandemia de COVID-19, ocurrida en 2020, fue un punto de inflexión en el crecimiento del simracing. Ante la suspensión de los calendarios deportivos tradicionales, numerosas competiciones de motor recurrieron a los simuladores para mantener la actividad. Esto generó un fenómeno de escala global que acaparó la atención tanto de la prensa especializada como del público general, especialmente del sector juvenil. Empresas fabricantes de volantes reportaron incrementos de hasta un 825% en sus ventas, mientras que gran parte de los pilotos profesionales continuaron entrenando y compitiendo en entornos virtuales. Este escenario permitió que los usuarios amateurs pudieran medirse en pista con pilotos de Fórmula 1 como Max Verstappen o Lando Norris, lo que reforzó la legitimidad y el atractivo de la disciplina. [18]

### 2.2.6. Profesionalización y desarrollo competitivo

El crecimiento del simracing derivó también en la creación de campeonatos internacionales y en la consolidación de equipos de talla mundial, tales como MSI eSports, Drivex eSports, S2V Esports, Zennith Esports, Aurys Racing Team y Obsidian Racing. Estos equipos han logrado reconocimiento y premios significativos, como el caso de MSI eSports que obtuvo 200.000 euros al alcanzar el tercer puesto en la Porsche TAG Heuer eSports Supercup gracias al piloto virtual Alejandro Sánchez. Asimismo, la disciplina ha servido como plataforma de lanzamiento para talentos que trascendieron hacia el automovilismo real. Un caso emblemático es el de Jann Mardenborough, quien tras destacarse en el simulador Gran Turismo 5 ganó

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la GT Academy en 2011, superando a 90.000 competidores. Gracias a ello, debutó con Nissan en las 24 Horas de Dubái y compitió en categorías como GP3, GP2, Le Mans, Super GT y Fórmula E. Su trayectoria demostró que el rendimiento adquirido en simuladores puede transferirse al automovilismo real, siempre que se complemente con preparación física y técnica adecuada. [19] [20]

**2.2.7. Perspectiva pedagógica y estudios recientes**

Además de sus beneficios en seguridad, economía y continuidad deportiva, el simracing presenta un valor pedagógico creciente. Diversos estudios académicos destacan que los simuladores de conducción son herramientas eficaces para mejorar la seguridad vial en conductores novatos, siempre que se utilicen con programas formativos bien diseñados (Universidad de Valencia, 2023). Otras investigaciones resaltan que esta disciplina ayuda a desarrollar habilidades cognitivas como la toma de decisiones, la memoria espacial y la capacidad de reacción, aspectos esenciales para la conducción en entornos reales (Nikkilä, 2024). Asimismo, recientes propuestas educativas plantean al simracing como un recurso innovador para la enseñanza de disciplinas STEM, al integrar la interpretación de telemetría, la resolución de problemas técnicos y el aprendizaje activo en contextos motivadores (Simstaff, 2024). Todo ello refuerza la idea de que el automovilismo digital no solo es una alternativa competitiva y segura, sino también una herramienta con un gran potencial pedagógico para el futuro. [25]
[26] [27]

**2.3. ¿Cuáles son sus desventajas?**

No obstante, estos softwares poseen ciertas carencias o desventajas a destacar. Primeramente, estos programas son desarrollados por empresas que se dedican al rubro de los videojuegos y, por ende, a diferencia de la realidad, pueden presentar fallos de rendimiento, funcionamiento y similares que afectan repentinamente durante la experiencia de juego del piloto virtual. [21]

La experiencia del juego puede favorecer la repetición mecánica (hacer lo mismo una y otra vez con precisión), en lugar de fomentar la adaptación instintiva o el aprendizaje dinámico, los cuales son importantes en el automovilismo, provocando que la conducción dentro del juego sea más técnica que adaptativa. Asimismo, es necesario contar con conocimientos de carácter mecánico y técnico, permitiendo al jugador optimizar el hardware utilizado para lograr una experiencia de juego adecuada, así como ajustar la configuración del vehículo a conducir —conocida como set-up— de acuerdo con las condiciones y requerimientos específicos. Además, en ciertos simuladores se fomenta constantemente la economía interna dentro del juego para la compra de vehículos, cosméticos para los mismos, circuitos y demás agregados. Por ende, esto podría afectar a los usuarios interesados en iniciar desde cero en el automovilismo que no poseen conocimientos previos o experiencia. [22][23]

Cabe destacar, que las simulaciones fomentan una conducción agresiva porque los accidentes no tienen consecuencias reales, lo que podría derivar en conductas peligrosas en pista o en la vida real. Esto puede llevar a adoptar estrategias de riesgo inapropiadas para contextos de aprendizaje o pista real por el exceso de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



confianza obtenido. [24]

### 2.4. ¿Vale la pena?

Considerando lo anteriormente expuesto, la tecnología ha proporcionado una vía alternativa para practicar y competir en el automovilismo, de manera tal que los jóvenes puedan acceder a él desde sus hogares e iniciar su carrera para ascender dentro de este deporte virtual. Aunque aún poseen ciertas carencias a resolver que pueden dificultar este acceso y la experiencia dentro de estos videojuegos al conducir. Sin embargo, es una oportunidad para competir en las más altas categorías de los campeonatos digitales junto a pilotos profesionales de forma online, o incluso también en muy pocos casos llegar al deporte real, lo cual hace dos décadas atrás era impensado. Otorgando una posibilidad a aquellos que no poseen los recursos para iniciarse en el automovilismo real y que quieran introducirse en este deporte o simplemente disfrutarlo.

## Conclusión y Trabajos Futuros

El análisis efectuado permite advertir que el automovilismo continúa siendo una disciplina de acceso restringido, condicionada por las significativas barreras económicas que impone, incluso en sus niveles más elementales. Frente a esta realidad, los videojuegos de simulación automovilística se consolidan como una alternativa tecnológica que promueve un entorno más seguro, accesible y económicamente sostenible, además de constituir una plataforma inicial de aprendizaje para jóvenes interesados en la competencia automotor. El crecimiento sostenido de esta práctica durante la última década —acentuado especialmente a partir de la pandemia de COVID-19— demuestra su progresiva consolidación como una disciplina paralela al automovilismo tradicional, con la capacidad de generar campeonatos internacionales y ofrecer oportunidades profesionales a algunos de sus principales exponentes.

No obstante, la investigación también evidencia que los simuladores de conducción presentan limitaciones que deben ser cuidadosamente consideradas. Entre las más relevantes se destacan los fallos técnicos inherentes a las plataformas digitales, la necesidad de poseer conocimientos tanto mecánicos como informáticos para una configuración óptima, la tendencia a la repetición mecánica que puede restringir la capacidad de adaptación instintiva, y la aparición de economías internas que, lejos de democratizar el acceso, podrían reproducir o incluso agravar las desigualdades preexistentes.

En consecuencia, los simuladores de conducción constituyen una herramienta de indudable valor pedagógico y formativo, aunque de alcance parcial. Si bien amplían las posibilidades de acceso al automovilismo, facilitan la adquisición de habilidades iniciales y proporcionan un espacio competitivo alternativo para quienes no disponen de los recursos necesarios para participar en el deporte real, sus limitaciones tecnológicas, pedagógicas y sociales revelan que su principal utilidad radica en su carácter complementario. En este sentido, su aporte se encuentra en la capacidad de enriquecer el proceso de aprendizaje, fomentar la vocación por el automovilismo y mantener vigente el interés de las nuevas generaciones en la disciplina.

De cara al futuro, resulta pertinente promover investigaciones que profundicen en el estudio de esta alternativa, con el propósito de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



determinar si los avances tecnológicos recientes han permitido superar o mitigar las limitaciones actualmente observadas. En tal dirección, se sugiere abordar con mayor detalle los aspectos técnicos de los simuladores, incluyendo la arquitectura de software, los modelos físicos y de dinámica vehicular, las estrategias de calibración y los métodos de validación frente a datos empíricos, así como los requerimientos y restricciones del hardware involucrado. También sería pertinente analizar parámetros críticos como la latencia y la sincronización de entrada/salida (input/output), que condicionan la fidelidad de la experiencia simulada. Finalmente, la realización de estudios longitudinales permitiría evaluar la evolución de las ventajas y desventajas de estas plataformas a lo largo del tiempo, además de explorar nuevas modalidades dentro del automovilismo virtual y posibles vías alternativas de acceso al automovilismo real, en función de los futuros desarrollos tecnológicos.

**Agradecimientos**
Dra. Ing. Cristaldo, Patricia Raquel
Lic. Nigro, Alberto María
Aus. Valiente, Luciana

**Referencias**

**[1]** Wikipedia (2025). "Automovilismo". Disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Automovilismo

[Accedido 29-ag-2025]

**[2]** Road & Track (2021). Disponible en:
https://www.roadandtrack.com/car-culture/a38174594
[Accedido 06-ag-2025]

**[3]** Everything Motorsport (2024). Disponible en:
https://www.everythingmotorsport.com/breaking
-down-the-costs-of-racing
[Accedido 06-ag-2025]

**[4]** Racing Insight (2025). Disponible en: https://racinginsight.uk/the-true-cost-of-racing- in-tcr-uk-2025/
[Accedido 06-ag-2025]

**[5]** Go to the Grid (2024). Disponible en: https://www.gotothegrid.com/public/en/blog/getti ng-started-in-circuit-racing-the-complete-guide [Accedido 06-ag-2025]

**[6]** Financial Times (2025). Disponible en: https://www.ft.com/content/039708b1-f325-484c- b98d-09bd8f8903bb
[Accedido 06-ag-2025]

**[7]** Wikipedia (2024). "Asseto Corsa". Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Assetto_Corsa
[Accedido 29-jul-2025]

**[8]** Wikipedia (2025). "iRacing". Disponible en:
https://en.wikipedia.org/wiki/IRacing
[Accedido 29-jul-2025]

**[9]** Estudio universidad de Valencia (2024) "Estudios académicos demuestran la eficacia de los simuladores de conducción". Disponible en:
https://simescar.com/estudios-eficacia-simuladores-
[Accedido 30-jul-2025]

**[10]** Superauto (2023) "Beneficios del uso de los videojuegos de simulación para el aprendizaje." Disponible en: ttps://superauto.com.ar/automovilista-simulador/?srsltid=AfmBOoqabT-hdW8PbcZNLdnaggHqUubgGsMtX3OJMW Exo GfmBV7Hg57i#ventajas_clave_del_uso_de_si mul adores
[Accedido 30-jul-2025]

**[11]** Sim Racing vs Real Racing - RaceMarket (2025). Disponible en: https://sim.racemarket.net/blog/article/sim-racing-vs-real-racing-b7
[Accedido 06-ag-2025]

**[12]** Car And Driver (2025). Disponible en: https://www.caranddriver.com/car-accessories/g65350590/sim-racing-prime-day- deals-2025/
[Accedido 06-ag-2025]

**[13]** Sim Racing - OC Racing (2021).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Disponible en:
https://www.ocsimracing.com/reviews/blog-simracingonabudgetin2021

[Accedido 06-ag-2025]

**[14]** No Money Motorsport (2025). Disponible en: https://nomoneymotorsports.com/2020/05/26/the- cheapest-racing-simulator-gaming-setup-out- there
[Accedido 06-ag-2025]

**[15]** Sim Racing for under 500 USD - OC Sim Racing (2024). Disponible en: https://www.ocsimracing.com/reviews/sim-racing-for-under-500 [Accedido 06-ag-2025]

**[16]** Sim Racing Setup (2025). Disponible en: https://simracingsetup.com/product-guides/best- sim-racing-rig-wheel-setups/
[Accedido 06-ag-2025]

**[17]** Tom's Guide (2025). Disponible en: https://www.tomsguide.com/gaming/gaming - peripherals/exclusive-i-got-early-access-to-the- best-sim-racing-rig-of-2025-but-its-so-early-i- cant-even-tell-you-what-its-called
[Accedido 06-ag-2025]

**[18]** Revista Car (2021). "SimRacing: una nueva era de la competición automovilística". Disponible en: https://revistacar.es/simracing- una-nueva-era-de-la-competicion- automovilistica/
[Accedido 07-ag-2025]

**[19]** Giles Richards (2012). "From gamer to racing driver". Disponible en: http://www.theguardian.com/sport/2012/apr/29/j ann-ardenborough-racing-car-games
[Accedido 03-sept-2025]

**[20]** Gran Turismo (2025). "Jann Mardenborough". Disponible en: https://www.gran-turismo.com/mx/academy/graduates/jann/
[Accedido 07-ag-2025]

**[21]** Agus Martin (2025). "AI, Career, Damage: What The OverTake Community Wants To Improve Most In Sim Racing". Disponible en: https://www.overtake.gg/news/ai-career-damage- what-the-overtake-community-wants-to-improve- most-in-sim-racing.2884/
[Accedido 25-ag-2025]

**[22]** Ravsim (2012) "Simulating the racing" Disponible en: https://ravsim.com/2012/09/02/simulating-the-racing/
[Accedido 25-ag-2025]

**[23]** Randomcallsign (2025) "Realism is setting back simracing" Disponible en: https://www.randomcallsign.com/reviews/realism-is-setting-back-simracing

[Accedido 25-ag-2025]

**[24]** Ross Bentley (2015) "Speed Secrets: The Pros and Cons Of Simulators" Disponible en: https://windingroad.com/articles/features/speed- secrets-the-pros-and-cons-of-simulators/
[Accedido 25-ag-2025]

**[25]** Universidad de Valencia (2023). *Effectiveness of Driving Simulators for Drivers' Training: A Systematic Review*. (MDPI)
Disponible en:

https://www.mdpi.com/2076-3417/13/9/5266

**[26]** Nikkilä, T. (2024). *Benefits of a Racing Simulator to a Real-Life Racing Driver*. (Tesis, Theseus.fi)
Disponible en: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8713 04/Nikkila_Timo.pdf?isAllowed=y&sequence=4

**[27]** Simstaff (2024). *Sim Racing: A Powerful Tool for Educating Students in STEM*. (Blog de SimStaff)
Disponible en:

https://simstaff.net/team-building-activities- reimagined-with-racing-simulators/ [Accedido 01-sept-2025]

**Datos de contacto**

*Juan Manuel Le Donne:*

*ledonnejuan22@gmail.com*

*Axel José Lanterna:*

*lanternaaxel@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Agustina Leguiza Scandizzo:*

*agusleguizascandizzo@gmail.com*

*Lorenzo Benjamín Laumann:*

*laumannbenja@gmail.com*

*Juan Lucca Jesús Lamarca:*

*juanluccajesus19@gmail.com*

*Santino Luis Jacquement:*

*santinojacquement@gmail.com*

*Institución: Universidad Tecnológica Nacional*

*Código postal: Ing. Pereyra 676, C.P: 3260; Concepción del Uruguay, Entre Ríos*

*Correo de la carrera: deptosistemas@frcu.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Meta AI y la delgada línea entre innovación y violación de la privacidad

**Molinari, Bruno; Morales, Ana; Morelli, Jessica; Mosca, Gonzalo; Muñiz, Federico; Nahuel, Lautaro; Natal, Gonzalo; Naveira, Estanislao**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad de Concepción del Uruguay***

**Abstract**

*El presente trabajo se centra en la investigación de la empresa Meta Platforms Inc., profundizando en aspectos clave como la privacidad del usuario en las distintas aplicaciones sociales de la compañía y los problemas recientes con el uso de información confidencial para fines comerciales. Por tanto, en los últimos años se ha podido ver una serie de juicios en contra de la compañía por los motivos presentados anteriormente alrededor del mundo, provocando un replanteamiento en la sociedad acerca de hasta qué punto el usuario está dispuesto a proporcionar datos para la retroalimentación de los algoritmos, el aprendizaje de la inteligencia artificial e información proporcionada a terceros sin la autorización del usuario.*
*Por lo que, se indagó en la política de privacidad de la compañía para conocer los datos a los cuales tendrá acceso. Los que el propio usuario proporciona (edad, nombre, mensajes, fotos, videos, reacciones, comentarios), datos generados por la actividad dentro de sus servicios (ubicaciones geográficas, interacciones con publicaciones, tiempo de visualización, movimientos del cursor, conexiones de hardware), y datos proporcionados por terceros (sitios web y aplicaciones externas que utilizan herramientas de Meta, como el botón "Me gusta" o el inicio de sesión con Facebook). Indicando la utilización de dicha información para "mejorar productos y servicios, incluyendo el desarrollo de modelos de inteligencia artificial y aprendizaje automático".*

**Palabras Clave**
Meta, información, privacidad, aplicaciones, juicios, Meta AI, datos, algoritmos, terceros.

## Introducción

Meta Platforms Inc. es una empresa de Tecnología reconocida a nivel mundial la cual en los últimos años ha estado desarrollando una inteligencia artificial llamada Meta AI.

En los últimos años, han iniciado juicios en contra de la empresa META por el uso inapropiado de la información personal de los usuarios lo cual ha generado descontento en la población y ha movilizado la investigación acerca de la privacidad de META, con lo que se ha podido notar que la empresa toma a los usuarios más como un sujeto de investigación para el desarrollo de nuevos programas al ver y medir las reacciones mediante el uso de los algoritmos ajustados a los gustos de cada uno, evitando el tener que realizar estudios de mercado en profundidad ya que de esto se encarga el algoritmo que ellos poseen, viendo al individuo que usa su aplicación como su principal producto pero, accediendo a la autorización del usuario a través de los términos y condiciones.

El objetivo de la investigación presentada es realizar un análisis y evaluación a los recientes problemas que han surgido con la información proporcionada por los usuarios en las aplicaciones de la empresa "META",

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



quienes han estado utilizando dicha información para otros propósitos sin el consentimiento previo del usuario. Este uso descontrolado por parte de la empresa de la información del usuario ha provocado, en los últimos años, la disconformidad por parte de los usuarios. Asimismo, esto permite plantear la interrogante acerca de hasta qué punto se permite que las empresas utilicen información personal para proporcionar una experiencia única en sus plataformas, sin sobrepasar la delgada línea entre la información necesaria para los algoritmos y cuando esa información es utilizada para otros fines como la venta de datos de los usuarios a empresas de terceros.
También, se quiere concientizar a los demás usuarios de las aplicaciones de META y demás empresas de tecnologías del uso que se le da a los datos proporcionados en sus distintas aplicaciones, las cuales son de uso diario por diferentes personas alrededor del mundo.

Para cumplir con este objetivo, el trabajo se estructurará de la siguiente manera:
En la primera sección, se explicará qué es Meta AI., por qué Meta AI. ha generado tanta polémica y su política de privacidad.
La segunda sección, abordará los diversos juicios que ha tenido la empresa tanto en Argentina y latinoamérica como en el resto del mundo
En la tercera sección, se detalla la información a la que tiene acceso Meta AI.
Finalmente, en la cuarta sección, se ofrecerán las conclusiones.

## 1. ¿Qué es Meta AI?

En esta sección se define que es Meta AI, así como también hablaremos sobre el origen de la polémica que se generó alrededor de ella (subsección 1.1), analizaremos sus políticas de privacidad (subsección 1.2), así como también a dónde se dirige la información que le proporcionamos (subsección 1.3).

### 1.1 Meta AI y el porqué ha generado tanta polémica en los últimos meses

Meta AI es un software asistente estilo chatbot basado en inteligencia artificial creado por Meta la empresa propietaria de Facebook WhatsApp e Instagram. Este modelo de IA está basado en LLaMA 2, un modelo de IA genérico creado por Meta.[1] La diferencia entre los programas anteriormente nombrados es que LLaMA es el modelo de lenguaje de inteligencia artificial, mientras que Meta AI es el chatbot basado en este modelo. Un ejemplo de esto sería que, LLaMA 2 es lo mismo que GPT-4, mientras que Meta AI sería lo mismo que ChatGPT.

Dentro de sus principales productos, se generó una fuerte polémica por la forma de tratamiento de datos personales y la seguridad de la información de los usuarios. Diversos informes periodísticos publicados recientemente ponen de manifiesto una serie de fallos, riesgos y prácticas cuestionables que ponen en jaque el derecho a la privacidad.

En primer lugar, el asistente de inteligencia artificial de Meta se entrena a partir de información recopilada del propio ecosistema de redes sociales de la compañía. Se utilizan datos de perfiles, fotografías, publicaciones, conversaciones, interacciones e incluso metadatos con el fin de mejorar el comportamiento del modelo. Este proceso ocurre incluso con información sensible, como opiniones políticas, creencias, hábitos de salud, ubicación o preferencias del usuario, muchas veces sin el debido conocimiento ni consentimiento explícito de este.[2] Cabe destacar que Meta solo ofrece un formulario para oponerse al tratamiento de datos con fines de IA, pero advierte que no puede garantizar completamente que estos sean eliminados si ya fueron incorporados al sistema o si están disponibles a través de terceros.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Adicionalmente, se reportaron fallos técnicos graves que dieron lugar a la exposición involuntaria de conversaciones privadas mantenidas con Meta AI. En varios casos, por errores temporales en la infraestructura, partes del contenido de los chats aparecieron en secciones públicas de perfiles de usuarios o pudieron ser accedidas por terceros no autorizados. Esta situación pone en evidencia la carencia de mecanismos robustos de aislamiento entre las interacciones privadas con el asistente y el resto de la red social, fomentando riesgos de acceso indebido, filtración de datos personales o incluso posibles usos maliciosos.[2]

Asimismo, se indica la existencia de una vulnerabilidad que permitía, mediante comandos específicos, visualizar conversaciones ajenas sostenidas con el asistente, lo cual representa un serio riesgo de espionaje digital e incumple los principios más básicos de confidencialidad. Tales fallos demuestran que Meta AI opera en un marco tecnológicamente complejo donde las garantías de seguridad aún no son completamente confiables.[3]

Por otra parte, la forma en que Meta ha incorporado su IA dentro de aplicaciones como WhatsApp ha sido especialmente criticada por ser muy intrusiva. La funcionalidad se activa de forma predeterminada a través de un ícono azul en la interfaz, lo que provoca que los usuarios comiencen a interactuar con el sistema sin una comprensión clara de que sus mensajes pueden ser utilizados para entrenar algoritmos.

En conjunto, estos elementos configuran un escenario preocupante donde las innovaciones en inteligencia artificial avanzan más rápido que los mecanismos de protección al usuario. La recopilación masiva de información personal, las fallas de seguridad con exposición de contenido privado, la posibilidad de espionaje de conversaciones y la activación predeterminada del asistente plantean dudas éticas y legales sobre la actuación de Meta. Frente a ello, resulta fundamental que los usuarios sean plenamente conscientes de los riesgos asociados a Meta AI, adopten medidas de autoprotección (como limitar permisos, evitar compartir datos sensibles y desactivar la IA cuando sea posible) y se promueva una regulación más estricta que garantice la transparencia, el consentimiento explícito y la seguridad efectiva de la información personal en entornos digitales.[4]

### 1.2 ¿Cuál es la Política de privacidad de META A.I.?

La política de privacidad de Meta [5], constituye el marco legal que regula el uso de los datos personales que recolecta, procesa y comparte la compañía. Establece que recopila información personal del usuario mediante múltiples fuentes: aquello que el propio usuario proporciona (edad, nombre, mensajes, fotos, videos, reacciones, comentarios), datos generados por la actividad dentro de sus servicios (ubicaciones geográficas, interacciones con publicaciones, tiempo de visualización, movimientos del cursor, conexiones de hardware), y datos proporcionados por terceros (sitios web y aplicaciones externas que utilizan herramientas de Meta, como el botón “Me gusta” o el inicio de sesión con Facebook). Indica que dicha información se utiliza para “mejorar productos y servicios, incluyendo el desarrollo de modelos de inteligencia artificial y aprendizaje automático”.

La empresa señala que Meta AI procesa datos provenientes de las interacciones del usuario con el propio asistente, pero también puede nutrirse de información histórica del usuario contenida en otras aplicaciones de Meta. La intención de usar datos no publicados (como conversaciones de WhatsApp) para que pueda imitar la forma de escribir de otros individuos de una

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



forma más precisa, ha llevado al Centro Europeo de Derechos Digitales a manifestarse para proteger los datos privados de las personas[6]. De esta manera, aunque el usuario solo interactúe con la IA de forma opcional, su comportamiento en las diversas aplicaciones de la empresa puede incidir indirectamente en el entrenamiento del modelo de inteligencia artificial.

Desde el punto de vista de la retención de datos, Meta declara que conserva información personal "por el tiempo que sea necesario" para cumplir con sus fines operativos, comerciales y legales; lo que significa que la información procesada por Meta AI puede permanecer indefinidamente en sus servidores. Además, la compañía aclara que, aunque el usuario solicite la eliminación de ciertos datos, esto puede no aplicarse si el contenido ya se encuentra integrado en un modelo entrenado, lo que limita el control real que posee el individuo sobre su información una vez utilizada para desarrollar inteligencia artificial.

El asistente virtual funciona como una "biblioteca digital inteligente" capaz de responder preguntas y generar imágenes, perfeccionando su funcionamiento para reconocer patrones y ofrecer respuestas más precisas[7], por lo que necesita utilizar la información para clasificar a cada persona según sus gustos y publicaciones, lo que le permite mostrar publicidad de su interés y generar ganancias multimillonarias. [8]

La política actualizada recientemente también modifica el enfoque de consentimiento. Mientras que previo a 2022 se establecía un consentimiento general para el uso de datos en redes sociales, la nueva redacción amplía ese alcance a iniciativas de inteligencia artificial y aprendizaje automático de forma predeterminada, es decir, sin consultar previamente. En consecuencia, el usuario que no desee que su información sea utilizada por Meta AI, debe realizar un procedimiento activo de exclusión (opt-out), que implica completar formularios específicos o modificar configuraciones poco visibles dentro de cada aplicación, lo cual genera críticas por su complejidad y falta de accesibilidad.

Para agregar, la compañía admite que algunas solicitudes pueden no ser viables "por motivos técnicos o jurídicos", lo que refuerza la percepción de que el usuario no dispone de un control total sobre el uso de sus datos cuando estos ingresan en los sistemas de inteligencia artificial de la empresa.

### 1.3 El destino de la información

Otro aspecto relevante que emerge de la política oficial es el de la compartición de datos, la cual contempla el intercambio de información con empresas dentro del propio grupo corporativo Meta, proveedores externos que trabajan en el procesamiento de datos, y socios comerciales. Esto implica que ciertos datos recopilados a través de conversaciones con la IA pueden ser analizados por terceros para mejorar el modelo, bajo acuerdos de confidencialidad, pero sin intervención directa del usuario.

META detalla que comparte la información registrada con: anunciantes y editores de Audience Network, socios que usan lo servicios de análisis de Meta, socios que ofrecen bienes o servicios en los productos de Meta y plataformas de servicios comerciales (para la realización de transacciones, garantizar la seguridad de la transacción), proveedores de medición (para que agrupen o recopilen datos y elaboren informes de análisis y medición), proveedores de marketing, proveedores de servicios, investigadores externos (para estudios relacionados con becas, innovación, seguridad, protección e integridad, así como el bienestar social, los avances tecnológicos y la salud), integraciones de IA (como proveedores de motores de búsqueda, para proporcionar información pertinente a sus IA), con otros

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



terceros (como órdenes de búsqueda, judiciales, de entrega o citaciones), con otras empresas de Meta.

En síntesis, la política de privacidad de Meta AI se inscribe dentro de una lógica corporativa que prioriza la integración, reutilización y retención de datos en función del desarrollo de modelos avanzados de inteligencia artificial. Aunque formalmente se reconocen derechos individuales y se detallan los usos permitidos de la información personal, la estructura real del sistema –basada en el consentimiento implícito– plantea serias dudas en términos de transparencia y protección de la privacidad de los usuarios.

## 2. Casos, juicios y debates contra META

En esta sección, se comenta sobre la preocupación de los distintos países por el uso indebido de la información, llevando a algunos a realizar denuncias, multas y hasta inicios de acciones legales en contra de la empresa Meta. Todas estas acciones legales en diferentes partes del mundo están centradas en la protección de la privacidad y los derechos digitales de los usuarios.




Figura 1: Muestra el ranking de multas por privacidad




Figura 2: Muestra los valores de las multas a Meta en un gráfico

### 2.1 El Caso de Argentina: Una Denuncia Formal ante la AAIP

La irrupción de Meta AI en Argentina, especialmente en Instagram y WhatsApp, provocó una respuesta legal inmediata.
El 31 de julio de 2024, los abogados especialistas en protección de datos personales, Facundo Malaureille y Daniel Monastersky, directores de la Diplomatura en Data Governance de la Universidad del CEMA, presentaron una denuncia formal contra Meta Argentina ante la Agencia de Acceso a la Información Pública (AAIP).
La denuncia se fundamentó específicamente en el uso de datos personales para el entrenamiento de Inteligencia Artificial por parte de Meta en Argentina. El reclamo judicial pide que la empresa aclare cómo preserva la intimidad de los datos de los usuarios, exigiendo explicaciones detalladas sobre sus prácticas de recolección y uso de datos. Entre los puntos más relevantes se incluyen:
Detalles sobre la actualización de la Política de Privacidad y evidencia del consentimiento de los usuarios; una Evaluación de Análisis de Impacto (PIA) conforme a las guías argentinas; explicaciones técnicas sobre los procesos de anonimización de datos y garantías de su irreversibilidad; aclaraciones sobre cómo se previene la reidentificación de datos anonimizados; información sobre el manejo de metadatos y datos sensibles en el proceso de anonimización; detalles sobre

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



las políticas de retención y destrucción de datos. Los abogados también solicitan que la AAIP realice una auditoría independiente de los procesos de Meta en el país. Adicionalmente, incitan a la Agencia a establecer directrices sobre los estándares de anonimización aceptables en Argentina, en el marco de sus facultades como autoridad de aplicación de la Ley 25.326.[9][10]

### 2.2 Reacciones y Acciones Legales en Europa

Meta Platforms ya enfrentaba un significativo rechazo en Europa antes de la denuncia en Argentina.
El Centro Europeo de Derechos Digitales (NOYB), una organización no gubernamental austríaca, presentó quejas ante las autoridades de protección de datos en 11 países europeos, incluyendo Alemania, Francia, Italia, España, Austria, Bélgica, Grecia, Irlanda, Países Bajos, Noruega y Polonia. Estas quejas urgían a las entidades gubernamentales a actuar para frenar el proyecto de Meta antes de su implementación prevista para el 26 de junio de 2024.
Las quejas se centraron en los cambios en la política de privacidad de Meta, que entraron en vigor el 26 de junio, permitiendo a la compañía “utilizar" años de publicaciones personales, imágenes privadas y datos de seguimiento en línea" para su tecnología de IA. NOYB señaló que Meta no definió claramente las características de esta tecnología ni especificó a qué terceros planeaba ceder la información. Aunque la compañía aseguró que solo usaría datos públicos, también indicó que podría procesar información de personas que no tienen perfil en sus redes pero aparecen en publicaciones de otros, como el rostro de un niño en una fotografía.
La empresa afirmó que confiaba en que su enfoque "cumple con las leyes de privacidad" y es consistente con las prácticas de otras empresas tecnológicas en Europa, señalando que existe una opción disponible en Facebook e Instagram para rechazar el uso de datos personales en el entrenamiento de su IA. Sin embargo, este proceso implica navegar por las configuraciones de privacidad, buscar la opción de "Derecho a objetar" u "Oponerse al tratamiento", y completar un formulario explicando el rechazo. [11]



Figura 3: Gráfico con las mayores multas aplicadas por la U.E.(Azul a META, Naranja a otras empresas)

### 2.3 Medidas Preventivas y Multas en Brasil

La demanda realizada en Argentina también desató preocupación por las políticas de Meta AI en Brasil resultando en acciones regulatorias como las son:
Suspensión y Multas: La autoridad de protección de datos brasileña (ANPD) obligó a Meta a suspender el funcionamiento de "Meta AI" en el país. Se impuso una posible multa diaria de 50 mil reales (aproximadamente 8.000 euros) por incumplimiento.
Sanción a WhatsApp: Adicionalmente, la Fiscalía brasileña solicitó una sanción de 1.733 millones de reales (unos 277 millones de euros) contra WhatsApp por supuesta violación de privacidad.[11]

## 3. ¿Por qué Meta AI no debería usar esta información?

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Meta implementó cambios en sus políticas de privacidad sin consultar a los usuarios primero y sin informar de los cambios hasta que ya fueron implementados. Además, en regiones como Latinoamérica, la mayoría de los países subdesarrollados no tienen autoridades que protejan los datos personales, lo que permite a Meta AI hacer lo que le dé la gana con los datos. [12]

Tras el desarrollo de esta investigación, se concluyó que la información que ingresa a Meta AI es utilizada principalmente para el entrenamiento de sus modelos de inteligencia artificial generativa y para la segmentación de audiencias con fines publicitarios. Esta práctica ha generado importantes preocupaciones sobre la privacidad y el consentimiento, especialmente en regiones donde las leyes de protección de datos son menos robustas o las autoridades carecen de recursos para hacerlas cumplir.

Meta I.A. es una de las causantes (además de muchas otras I.A.) de un debate ético y legal sobre la inteligencia artificial y el uso de datos para entrenar algoritmos. De este debate se derivan la mayoría de juicios y denuncias que hemos mostrado anteriormente las cuales han tenido como fin poder restringir un poco a Meta y crear marcos regulatorios que la monitoreen.

## Conclusión

El análisis realizado permite concluir que la estrategia de Meta, en relación con el uso de datos personales para el desarrollo de su asistente, genera serias tensiones entre la innovación tecnológica y la protección de la privacidad. Si bien la compañía justifica estas prácticas en función de mejorar la experiencia del usuario y optimizar sus algoritmos, las evidencias demuestran que existen riesgos significativos vinculados al consentimiento implícito, la falta de transparencia y la posibilidad de filtraciones o usos indebidos de información sensible. Estos hallazgos se ven reflejados en las múltiples denuncias, juicios y sanciones que enfrenta la empresa en distintas regiones del mundo, lo que confirma que el problema excede lo local y constituye un desafío global.

Las principales limitaciones de este trabajo se destacan en la dificultad de acceder a documentación interna de Meta, lo que restringe la comprensión total de sus mecanismos técnicos de anonimización y resguardo de datos. Asimismo, la naturaleza dinámica de las políticas de privacidad y de los marcos regulatorios impone un desafío para mantener actualizada la investigación, ya que las normativas y prácticas empresariales se encuentran en constante revisión y adaptación.

Como aporte, este estudio permite visibilizar cómo las decisiones corporativas sobre la gestión de datos afectan directamente a los derechos digitales de millones de usuarios y refuerza la necesidad de regulaciones más estrictas que garanticen la transparencia, el consentimiento informado y la seguridad en entornos digitales.

En síntesis, la investigación evidencia que la privacidad en la era de la inteligencia artificial requiere ser concebida no sólo como un derecho individual, sino como un elemento esencial para sostener la confianza en los entornos digitales. La evolución de Meta y de sus políticas en torno a Meta I.A. marcará un precedente clave en la relación entre innovación tecnológica, ética y derechos fundamentales.

## Agradecimientos

Agradecemos a nuestra tutora Luciana Valiente por sus aportes y buena predisposición a la hora de realizar consultas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias.**

[1]https://www.xataka.com/basics/meta-ai-que-que-ofrece-chatbot-inteligencia-artificial-meta, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[2]https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/papelon-meta-ai-publica-los-chats-privados-que-los-usuarios-mantienen-con-la-ia-nid13062025/, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025

[3]https://www.enteratenoticias.com.ar/en-tendencia/meta-ai-tuvo-una-falla-de-seguridad-que-permitia-espiar-conversaciones-de-otros-usuarios/, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025

[4]https://okdiario.com/curiosidades/alertan-meta-ai-whatsapp-peligro-debes-desactivarla-forma-urgente-elimina-ya-circulo-azul-14609117, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[5]https://free.facebook.com/privacy/policy/#1, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[6]https://www.diariojudicial.com/news-98381-El-Poder-Judicial-chaqueno-abre-concurso, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[7]https://www.xataka.com/basics/27-mayo-meta-empieza-a-usar-tus-datos-personales-para-entrenar-su-ia-asi-puedes-evitarlo, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[8]https://www.rionegro.com.ar/redes/facebook-indemnizara-a-usuarios-por-vender-datos-personales-de-cuanto-sera-la-indemnizacion-3155305/, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[9]https://blog.underc0de.org/meta-ai-y-sus-graves-fallos-de-privacidad/, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[10]https://hurlinghampost.com/abogados-argentinos-demandan-a-meta-por-uso-de-datos-personales-para-entrenamiento-de-ia/, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[11]https://www.infobae.com/tecno/2024/06/06/presentan-quejas-contra-meta-y-piden-fin-de-su-proyecto-con-ia-por-eso-de-datos-de-facebook-e-instagram/, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025
[12]https://www.labarraespaciadora.com/featured/meta-vulnera-datos-personales/, Recuperado por ultima vez el 04 de Septiembre de 2025

**Datos de Contacto:**

Molinari Bruno Luis. brunomolinari007@gmail.com

Morales Ana Clara. Moralesanaclara788@gmail.con

Morelli Salinas, Jessica Rubí.
jessicarubimorelli@gmail.com

Mosca, Gonzalo Agustin. moscagonzalo14@gmail.com

Muñiz Federico. munizfede45@gmail.com

Nahuel, Lautaro. lautinahu14@gmail.com

Natal Gonzalo. gonzanatal055@gmail.com

Naveira, Estanislao. taninaveira@gmail.com

UTN Facultad Regional Concepción del Uruguay, 3260

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# El voto electrónico en Argentina ¿seguridad o riesgo?

Axel Paroli, Francisco Percara, Leandro Pavón, Mateo Palermo,
Máximo Poggio, Rodrigo Pitetta, Selena Porras
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay***

**Abstract**
*El presente trabajo se realizó con el propósito de analizar la viabilidad del voto electrónico en Argentina como alternativa tecnológica frente al sistema tradicional. La motivación surge de la necesidad de modernizar los procesos electorales, garantizar mayor transparencia y reducir los márgenes de error humano. Para ello, se llevó a cabo un estudio comparativo de experiencias internacionales en países que implementaron esta modalidad, identificando tanto los beneficios obtenidos como los riesgos y limitaciones que enfrentaron. El enfoque metodológico se basó en la revisión de casos concretos y en el análisis de los factores técnicos, sociales y políticos que influyeron en sus resultados. A partir de esta evaluación, se buscó establecer cuáles son las condiciones que favorecen un uso exitoso del voto electrónico y cuáles, por el contrario, pueden poner en peligro la legitimidad de los comicios. El beneficio esperado de este trabajo radica en ofrecer elementos de análisis claros y objetivos que contribuyan al debate sobre la posible implementación del voto electrónico en Argentina, aportando así una base para la toma de decisiones informadas y orientadas a fortalecer la confianza ciudadana en el sistema democrático.*

**Palabras Clave**
voto electrónico, procesos electorales, Argentina; riesgos, legitimidad democrática, comparativa internacional y tecnología electoral.

## Introducción

El voto electrónico es una alternativa tecnológica al sistema tradicional de sufragio por papeletas. Consiste en emplear herramientas digitales para emitir, registrar y contabilizar votos, con la finalidad de agilizar los comicios, reducir errores humanos y fortalecer la transparencia del proceso electoral. Su implementación en distintos países ha generado resultados diversos y opiniones encontradas respecto a su eficacia y confiabilidad. Entre los principales desafíos se destacan la necesidad de garantizar auditorías transparentes [1], proteger el sistema frente a ciberataques y preservar el anonimato del votante.

Analizar el voto electrónico resulta relevante por su creciente aplicación a nivel internacional y el debate que despierta sobre su viabilidad en contextos democráticos. Evaluar sus implicancias técnicas, políticas y sociales permite anticipar escenarios de posible implementación futura, tanto en la República Argentina como en instituciones académicas, incluida esta universidad. El objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad del voto electrónico en Argentina como alternativa tecnológica en los procesos electorales, a partir de un estudio comparativo de experiencias internacionales. El análisis busca identificar los beneficios, riesgos y limitaciones del sistema, así como las condiciones que pueden favorecer su éxito o, por el contrario, poner en riesgo la legitimidad de los comicios, con el propósito de aportar insumos al debate sobre su posible adopción en el país.

## Desarrollo

### Planteo del problema principal

El debate sobre la incorporación del voto electrónico en los procesos electorales gira principalmente en torno a un problema central: la seguridad y confiabilidad del sistema. A diferencia del voto tradicional en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



papel, que permite una verificación física inmediata, el sufragio electrónico depende de software y hardware que pueden ser vulnerables a fallas técnicas, errores de programación o incluso ataques informáticos[2]. Esta dependencia tecnológica genera dudas sobre la transparencia del proceso y sobre la posibilidad de manipulación de resultados. La experiencia internacional demuestra que no existe un consenso absoluto. En países como Brasil o Estonia, el voto electrónico ha funcionado como herramienta para agilizar los comicios, reducir costos y facilitar la participación [3]. Sin embargo, en otros contextos, como Venezuela, el sistema fue fuertemente cuestionado debido a denuncias de fraude y manipulación política, lo que muestra que la eficacia de este modelo no depende únicamente de la tecnología, sino también de la solidez institucional, la confianza ciudadana y la capacidad de auditoría independiente. En el caso argentino, el problema adquiere una dimensión particular. La confianza de la ciudadanía hacia las instituciones y los procesos electorales es un tema sensible, y la introducción de un sistema electrónico podría profundizar la desconfianza si no existen garantías absolutas de seguridad, transparencia y control. Además, la brecha digital y las desigualdades tecnológicas [6] representan un desafío adicional ya que no todos los ciudadanos poseen el mismo acceso o conocimiento para desenvolverse en un entorno electrónico. Por lo tanto, el problema no se reduce a decidir si el voto electrónico es “bueno” o “malo”, sino a analizar en qué condiciones podría implementarse sin poner en riesgo la legitimidad democrática.

**Opinión de la población**

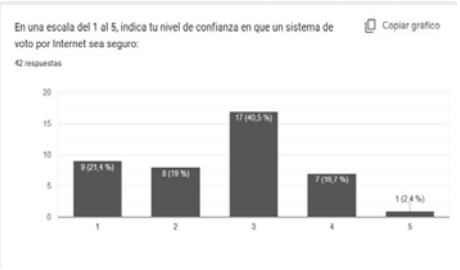
Con el fin de conocer la opinión del público sobre la implementación del voto electrónico en Argentina, se realizó una encuesta a 42 personas. Los resultados mostraron que el nivel de conocimiento previo acerca del tema está bastante dividido: poco más de la mitad afirmó saber qué es el voto electrónico por internet, mientras que el resto reconoció no estar familiarizado con la propuesta. Sin embargo, la experiencia directa con este tipo de sistemas resultó ser mínima, ya que la gran mayoría de los encuestados nunca había votado de manera electrónica, tanto dentro como fuera del país.

A pesar de esta falta de experiencia, más de la mitad de las personas consultadas se mostró claramente dispuesta a utilizar el sistema si se habilita a nivel nacional, mientras que un sector menor manifestó reservas o expresó preferencia por mantener el modelo actual en papel. Una pequeña fracción de los participantes indicó no estar segura sobre qué opción elegir.

En cuanto a los beneficios percibidos, la comodidad de poder votar desde cualquier lugar fue el aspecto más valorado, seguida por el ahorro de recursos y la rapidez en el escrutinio. No obstante, una proporción significativa de los encuestados manifestó que no encuentra beneficios concretos en este sistema.

Las preocupaciones, por otro lado, se concentraron mayoritariamente en la posibilidad de manipulación de resultados, lo que refleja la importancia que los ciudadanos le otorgan a la transparencia electoral. También aparecieron como temores relevantes la pérdida del anonimato y las dificultades de acceso a la tecnología.

Finalmente, al consultar sobre el beneficio y la confianza respecto al voto en internet, obtuvimos la siguiente escala **(Figura 1).**



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Figura 1,** gráfica sobre la confianza sobre el sistema de voto en internet en Argentina

**Tipos de votos electrónicos**

El voto electrónico no es un modelo único, sino que abarca distintos formatos según el contexto político y tecnológico de cada país. En algunos casos se implementa mediante máquinas en los centros de votación, como las de registro directo (DRE), los escáneres ópticos o los equipos con comprobante en papel (VVPAT), que se han utilizado en lugares como Estados Unidos, Brasil [3] o Venezuela. Otra modalidad es el voto por Internet remoto, conocido como i-Voting, que permite sufragar desde cualquier lugar con conexión a la red. El caso más emblemático de este modelo es Estonia, que desde 2005 lo aplica de manera generalizada. También existen variantes intermedias, como el voto en cabinas oficiales conectado a Internet, ensayado en Noruega y Suiza, así como los sistemas híbridos, que combinan respaldo electrónico y boleta en papel, utilizados en experiencias como la de la Ciudad de Buenos Aires. Incluso se han desarrollado propuestas experimentales basadas en blockchain, probadas en algunos estados de EE. UU., Suiza y Rusia.

**El voto electrónico internacional**

Aunque la implementación del voto electrónico sigue siendo limitada, algunos países han avanzado en su adopción total o parcial. En las Figuras 2.1 y 2.2 se observa la distribución mundial de su implementación: la Figura 2.1 muestra los países de América y la Figura 2.2 los de Europa, Asia y Oceanía. Entre los países que lo han implementado se encuentran Estonia, Brasil [3], India [4], Venezuela, Filipinas, Bélgica y Estados Unidos. Con adopción parcial o suspendida figuran Argentina, Italia, España, Suecia, Japón, Corea del Sur, Australia y Nueva Zelanda. Finalmente, entre los que no permiten su uso se destacan Alemania, Países Bajos, Francia, Reino Unido, Irlanda, Noruega, Finlandia, Suiza [5], Canadá y Ecuador.




**Figura 2.1**, mapa con la información de la implementación del voto electrónico



**Figura 2.2** mapa con la información de la implementación del voto electrónico

El voto electrónico ha tenido desarrollos muy diferentes según el país, lo que permite observar tanto sus beneficios como sus limitaciones. Estonia, Estados Unidos y Venezuela son tres ejemplos destacables para entender cómo la tecnología puede transformar —o complicar— los procesos democráticos.

Estonia es el país pionero en voto por internet a nivel nacional y lo mantiene hasta hoy. Desde 2005 permite a sus ciudadanos emitir su voto a -través de internet en elecciones nacionales, convirtiéndose en el primer país en el mundo en adoptar este

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistema de forma generalizada. Su éxito se explica por la existencia de una infraestructura digital muy desarrollada: El procedimiento se apoya en la identidad digital obligatoria que poseen todos los ciudadanos (tarjeta electrónica o Mobile-ID). El votante descarga un software oficial, se identifica con su tarjeta y un PIN, selecciona su candidato y firma digitalmente el voto, que se envía encriptado a los servidores de la Comisión Electoral. Es posible re-votar en línea varias veces durante el período electoral, y si la persona vota presencialmente en papel, ese voto anula cualquier voto emitido online.

En contraste, en Estados Unidos el voto electrónico no es uniforme, ya que cada estado e incluso cada condado define el sistema a utilizar. El procedimiento más común hoy combina boletas de papel marcadas a mano con lectores ópticos, lo que permite rapidez en el conteo y a la vez un respaldo físico verificable. Existen también dispositivos de marcado de boletas y, en menor medida, máquinas de registro directo (DRE), aunque estas últimas han sido cuestionadas porque no siempre generan comprobantes en papel.

El voto electrónico comenzó a expandirse tras los problemas de las elecciones de 2000, cuando se cuestionaron las papeletas perforadas en Florida. La ley Help America Vote Act (2002) impulsó la renovación tecnológica y la incorporación de sistemas electrónicos. Sin embargo, estudios académicos—incluidos los de investigadores del MIT—revelaron vulnerabilidades significativas que ponían en duda la integridad del sistema. Posteriores auditorías independientes confirmaron la existencia de múltiples fallas graves, lo que generó un fuerte debate sobre la seguridad y legitimidad de este tipo de soluciones. Este caso subraya que la incorporación de tecnologías avanzadas no garantiza por sí sola la seguridad ni la legitimidad democrática si no se acompañan de mecanismos de control y auditoría transparentes.

En la **Figura 2.3** se observa la distribución de los distintos tipos de voto electrónico utilizados en los Estados Unidos. Cada sigla corresponde a un estado (por ejemplo: CA=California, TX=Texas, NY=Nueva York). En los tonos más oscuros se indican los estados que utilizan dispositivos de registro directo (DRE) o de marcado de boletas (BMD), y en los más claros, aquellos con boletas en papel o sistemas híbridos. Se muestran los 37 estados y Washington D.C, los cuales corresponden a votantes con boletas en papel marcadas a mano, y los 13 estados restantes los cuales son votantes con maquina electrónicas de grabación directa (DRE) o dispositivos de marcado de boletas (BMD).

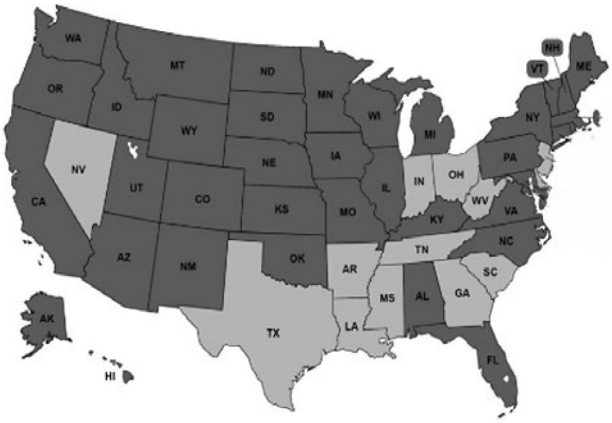



**Figura 2.3** mapa representativo de tipo de voto en E.E.U.U

En el caso de Venezuela, ocurrió algo distinto a los demás, ya que la adopción del voto electrónico estuvo asociada a la empresa Smartmatic, encargada de proveer las máquinas y la tecnología de votación desde 2004. [7] Durante varios años, el sistema fue presentado como una herramienta moderna y eficiente; sin embargo, en 2017, durante las elecciones de la Asamblea Nacional Constituyente, el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



propio CEO de Smartmatic, Antonio Mugica, denunció públicamente que el Consejo Nacional Electoral había manipulado las cifras oficiales, inflando en al menos un millón la cantidad de votos registrados. A partir de ese hecho, la empresa rompió vínculos con Venezuela y se retiró del país. Demostrando como la eficacia del voto electrónico no depende únicamente de la tecnología utilizada, sino también de la solidez institucional, la transparencia de los organismos de control y la existencia de auditorías independientes capaces de garantizar la legitimidad del proceso electoral.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Los resultados de la investigación permiten observar que la implementación del voto electrónico a nivel internacional presenta escenarios muy diversos. En Estonia, el sistema de voto por internet se consolidó como un modelo de referencia, gracias a la existencia de una infraestructura digital robusta y a la confianza ciudadana en las instituciones, lo que permitió que desde 2005 se utilice de manera sostenida. En contraste, Estados Unidos refleja un panorama fragmentado: la diversidad de sistemas en cada estado, junto con los antecedentes de vulnerabilidades técnicas detectadas en auditorías, ha generado debates permanentes sobre la seguridad y la transparencia del proceso electoral. Finalmente, el caso de Venezuela muestra que, aun con tecnología avanzada, la falta de credibilidad en los organismos de control puede socavar la legitimidad del sistema, tal como se evidenció en 2017 con la denuncia de manipulación de resultados por parte de la propia empresa proveedora de las máquinas, Smartmatic.

El análisis comparativo de la experiencia internacional en torno al voto electrónico permite extraer lecciones útiles para pensar su eventual implementación en Argentina.. Nuestro país presenta fortalezas, como un padrón electoral relativamente ordenado y una tradición de participación elevada, pero también entre sus limitaciones se encuentran la seguridad informática, la desigualdad en el acceso digital, la brecha tecnológica y la desconfianza social hacia las instituciones. Una adopción plena y rápida del voto electrónico podría acentuar más problemas de legitimidad que soluciones, en especial si no se garantiza un sistema de auditoría transparente y verificable.

Por lo tanto, antes de avanzar hacia una implementación nacional, la experiencia internacional sugiere la necesidad de un modelo gradual y mixto [1] en Argentina, combinando tecnología con mecanismos de control ciudadano, capacitación a la población y un diseño institucional que asegure tanto la agilidad del proceso como la confianza en sus resultados. En este sentido, la viabilidad del voto electrónico en el país no dependerá únicamente de la tecnología, sino de la capacidad del Estado y de la sociedad de construir consensos sólidos en torno a su funcionamiento.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN FRCU) por el acompañamiento académico brindado durante la realización de este trabajo, y expresan un especial reconocimiento a la profesora Patricia Raquel Cristaldo por su orientación y apoyo en el desarrollo del proyecto.

**Referencias**

[1] I. Silva, Voto electrónico y consideraciones de política pública en América Latina. Derechos Digitales, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.derechosdigitales.org/publicaciones/voto-electronico-y-consideraciones-de-politica-publica-en-america-latina/

[2] R3D – Red en Defensa de los Derechos Digitales, El voto por Internet rompe la cadena de confianza en las elecciones de 2021. 2021. [En línea]. Disponible en: https://r3d.mx/2021/05/10/el-voto-por-internet-rompe-la-cadena-de-confianza-en-las-elecciones-de-2021/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[3] Tribunal Superior Electoral de Brasil, Biometría. TSE, 2024. [En línea]. Disponible en: https://international.tse.jus.br/es/elecciones/biometria

[4] B. Bora, The Absent Voters of India: Challenges and Prospects for the Enfranchisement of Migrants. International IDEA, 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.idea.int/sites/default/files/2025-04/absent-voters-of-india.pdf

[5] J. Coronado, Suiza suspende voto electrónico. IDC Online, 2019. [En línea]. Disponible en: https://idconline.mx/corporativo/2019/04/24/suiza-suspende-voto-electronico

[6] A. Rojas Salom, La digitalización como territorio desigual: barreras de acceso y riesgos para la transparencia electoral en América Latina. Transparencia Electoral, 2025. [En línea]. Disponible en: https://transparenciaelectoral.org/blog/la-digitalizacion-como-territorio-desigual-barreras-de-acceso-y-riesgos-para-la-transparencia-electoral-en-america-latina/

[7] Smartmatic, la empresa a cargo del sistema de votación en Venezuela, denuncia "manipulación" en la elección de la Constituyente. 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-40804551

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Comparativa de Agrotecnologías

**Valentino Schiavo, Matias Jose Scheffer, Ignacio Schlotthauer, Brandon Roude, Valentin Suárez, Matias Solana Miracca, Gerónimo Tomás Soto Baloni.**

***Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción Del Uruguay , Unidad académica.***

**Abstract**
Este informe se basa en la investigación de las formas de recopilación de información ganadera en Argentina y Estados Unidos. Se busca realizar una comparativa en cuanto a los distintos tipos de tecnologías con los que cuenta cada país, como la aplican y posteriormente qué trabajo realizan una vez obtenida esa información. El objetivo es realizar un balance sobre qué práctica positiva aplica cada país, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas, qué datos importantes se desestiman, entre muchos otros campos de comparación; esto a fin de ver nuestras deficiencias y denotar qué aspectos podemos mejorar.

**Palabras Clave**
Ganado - Trazabilidad - Competencia - EEUU - Innovación - Mejora - Tecnología.

## Introducción

Es conocida la importancia del sector agropecuario en Argentina y su lugar fundamental en nuestra economía **[1],** especialmente en lo que respecta a la ganadería vacuna, que aporta alrededor del 8% del Producto Interno Bruto nacional, genera empleo a gran escala y representa cerca del 7.5% de las exportaciones totales del país **[2]**. Ahora bien, ¿Esto implica que estamos utilizando las mejores tecnologías disponibles para optimizar nuestro producto? Esta pregunta constituye la base fundamental del trabajo, donde abordaremos la falta de trazabilidad individual del ganado vacuno por parte de muchos productores en Argentina hasta hace poco tiempo **[3]**, diferencias a la hora de dirigir el ganado, entre otras. Para ello, realizaremos una comparación con Estados Unidos y los avances que esta potencia ha logrado en el sector agropecuario, particularmente en el control y seguimiento del ganado.
El objetivo de esta investigación es analizar qué técnicas, métodos y tecnologías utilizadas en Estados Unidos podrían adaptarse al contexto argentino, con el fin de fortalecer la competitividad del país dentro de un marco global cada vez más exigente. **[3]**
Este trabajo se estructura en tres partes: Primero, se describen las políticas y herramientas actuales en Argentina y Estados Unidos; luego, se realiza una comparación crítica entre ambos modelos; y finalmente, se discuten las posibles aplicaciones prácticas y recomendaciones para el sector productivo argentino.

## Métodos y Tecnologías Utilizadas.

**Collar inteligente:** El collar inteligente es un dispositivo que se adhiere al cuello de la vaca. Este está equipado con sensores que permiten examinar datos en tiempo real, de modo que el productor pueda recopilar información importante, como:

- Datos sobre la rumia, para evaluar su salud digestiva.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Detección del celo: Mediante sensores de actividad y temperatura ayudan a identificar cambios fisiológicos de la vaca que indican el celo.
- Localización y áreas de pastoreo predilectas, detectado a través de sistemas GPS.
- Análisis sobre la salud del animal, detectando fiebre y otras posibles enfermedades.

Los datos recaudados por el collar son analizados para ser utilizados posteriormente como entrada en un algoritmo. Este está capacitado para analizarlos con el objetivo de detectar patrones específicos que indiquen una condición particular en la totalidad o en una parte del ganado. El algoritmo realiza un balance, ayudando al productor en la toma de decisiones.

Un ejemplo del uso de esta tecnología es el vallado virtual, que implementa collares con GPS colocados en cada animal para delimitar áreas de pastoreo sin necesidad de cercos físicos. El collar emite sonidos cuando el animal se aproxima al límite establecido y, si no se detiene, aplica un estímulo eléctrico suave y seguro.**[5]**

Ventajas: Este implemento ganadero aporta al productor un monitoreo de la salud específica tanto de cada vacuno como el total del rodeo, tiene un impacto directo en el aumento de la productividad ya que al obtener información tan específica se puede optimizar y realizar mejoras puntuales en cada proceso. Dirigiéndonos al aspecto monetario traería un gran aporte en la reducción de costos, debido a que se menguarán satisfactoriamente los exámenes veterinarios y se evitarían pérdidas de animales.

Desventajas: Teniendo en cuenta que cada collar es individual para cada vacuno se debe tener a consideración que el capital inicial requerido sería bastante alto, ya que el importe de implementación es directamente proporcional a la cantidad de vacunos con los que se cuente. Al ser un implemento que cuenta con un soporte de software, se deben realizar verificaciones periódicas para garantizar el funcionamiento correcto de cada collar en específico. Adicionalmente, al tratarse de una tecnología totalmente diferente, se debería capacitar a la totalidad de los operadores sobre cómo trabajar con estos implementos. **[4]**

**Estaciones meteorológicas inteligentes:** Instaladas directamente en el campo, registran en tiempo real variables como temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitaciones. Entre sus funciones más destacadas se encuentran la prevención del estrés térmico, activando automáticamente sistemas de riego o ventilación, y la planificación de la alimentación y el pastoreo, ajustando el manejo según las condiciones climáticas. Este sistema se integra con softwares de gestión ganadera, habilitando una toma de decisiones más precisa y eficiente.

Ventajas: Las estaciones meteorológicas inteligentes le dan al productor ganadero una enorme ventaja al proveer la información del clima de su campo, no la de la ciudad más cercana. Lo más útil es que permiten anticiparse a los golpes de calor o frío para resguardar los animales y evitar pérdidas, algo fundamental para mantener sanos a los rodeos. Además, estos datos localizados y al momento son clave para manejar el pasto y el agua, ya que permiten saber con certeza cuándo el suelo necesita riego o si la lluvia está asegurada, logrando así que cada decisión sobre las pasturas y la hacienda sea mucho más precisa y económica.

Desventajas: No obstante, estas estaciones poseen un alto coste en la implementación y en el mantenimiento.**[6]**

**Análisis genómico**: El análisis genómico es una técnica biotecnológica que permite

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



estudiar el ADN de un animal para identificar y evaluar características genéticas específicas. Se basa en la extracción de material genético (generalmente a partir de sangre, pelo con raíz o tejido) y su posterior secuenciación o tipificación para obtener un perfil genético detallado. Sus principales funciones son:

- Mejora genética: Seleccionar animal con mayor potencial productivo (Ganancia de peso, producción de leche, calidad de carne).
- Resistencia a enfermedades: Identificar y promover genes que confieren resistencia a patologías como brucelosis o parásitos internos.
- Eficiencia alimenticia: Seleccionar animales que convierten mejor el alimento en peso o producción.
- Rastreabilidad genética: Asegurar la autenticidad de linajes y la pureza de razas.
- Detección temprana de defectos genéticos: Prevenir la reproducción de ganado portador de genes indeseables
- Permite decisiones de selección basadas en información genética objetiva y no solo en fenotipo.
- Reduce el tiempo de mejoramiento genético, ya que se identifican animales de alto potencial a temprana edad.

Ventajas: En medicina, permite diagnósticos más precisos de enfermedades genéticas, identificación de riesgos y personalización de tratamientos. En investigación, facilita el estudio de la evolución de especies, la comprensión de interacciones genéticas y el descubrimiento de nuevas terapias. En agricultura, ayuda a mejorar la precisión de la selección genómica para animales y optimizar la producción.

Desventaja: Estas incluyen el costo inicial de la prueba, la necesidad de interpretación experta de los resultados y el riesgo de depresión por consanguinidad si no se utiliza correctamente. Además, la información genómica debe ser complementada con datos fenotípicos para una selección más precisa. También existe la posibilidad de que el animal sufra algún tipo de estrés y depresión luego de ser sometido a distintas pruebas, como los resultados inconclusos o que dan lugar a más incógnitas. **[7]**

**Comederos Inteligentes:** El objetivo principal de los comederos inteligentes es monitorear de manera remota y en tiempo real el consumo de alimento de cada animal, recopilando datos precisos durante todo su período de alimentación. Consta de una batea de plástico, donde se introduce el alimento, una balanza que pesa constantemente la batea de plástico y una antena, que se encarga de identificar cada animal mediante su caravana (dispositivo ubicado en la oreja de cada vacuno que cuenta con un chip único) con lo cual el sistema detecta cuando ingresa cada animal al comedero, mediante la balanza se pesa cuánto ingiere el animal en ese momento para después enviar la información a un software que comprende los datos de cada vacuno en específico. **[8]**

Ventajas: Un aspecto crucial a considerar al implementar esta tecnología ataña directamente a la importancia de la genética vacuna en el ámbito ganadero, por lo que recibir información sobre cómo asimila cada animal cierta cantidad de alimento es muy útil para realizar una selección en el rodeo. Ayudaría a realizar un cálculo de los futuros costos además de ser un dato complementario y de relevancia para la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



realización de índices y estudios de genética como se muestra en los siguientes gráficos.**[9]**

EVALUACIÓN DE LÍNEAS DIVERGENTES

**Comparación de características de grasa, consumo y calidad de carne entre bovinos con Alto y Bajo RFI. [10]**

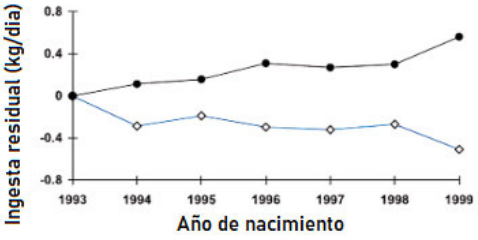
| **RASGO** | Bajo RFI | Alto RFI |
|---|---|---|
| **Crecimiento** | | |
| Grasa cadera, mm | 6.7 | 8.8 |
| consumo, kg/d | 9.4 | 10.6 |
| RIF, kg/d | -0.54 | 0.71 |
| **Calidad de Carne** | | |
| Espesor grasa, mm | 15.6 | 20.7 |
| Resistencia al corte kg.(1 día maduración) | 9.4 | 3.15 |

**Efecto del índice de eficiencia alimenticia (RFI) sobre los parámetros reproductivos en dos ciclos de reproducción. [10]**

| **RASGO** | Bajo RFI | Alto RFI |
|---|---|---|
| **Reproducción 1** | | |
| % de Parición | 89.2 | 88.3ns |
| Fecha de Parto | 215 | 210* |
| % Destete | 81.5 | 80.2ns |
| **Reproducción 2** | | |
| % de Parición | 89.1 | 92.6ns |
| Fecha de Parto | 35.7 | 27.6** |
| % ciclando edad | 68.7 | 74.1ns |

**RFI: indicador que mide la eficiencia alimenticia al cuantificar si consume más o menos alimento del que se espera para su tasa de crecimiento y tamaño.*

**Tendencia genética de la ingesta residual (RFI) en líneas divergentes de bovinos nacidos entre 1993 y 1999. [10]**




Desventajas: La principal desventaja de aplicar cualquier tecnología de precisión es su costo inicial, y esta no es la excepción, debido a que se debería realizar un recambio en la totalidad de los comederos, además de la implementación del software correspondiente. Otra no tan grande pero visible desventaja es la conectividad debido a que se debe contar con la respectiva alimentación eléctrica que en ciertos campos o lugares agropecuarios es complicado de obtener.
En los anteriores gráficos podemos ver los datos que podemos obtener del comedero inteligente.

**Robots y maquinarias de alimentación inteligente:** Son sistemas automatizados diseñados para alimentar al ganado de forma precisa y continua, reduciendo la intervención humana. Ejemplos destacados incluyen el GEA DairyFeed F4500 **[11]**, el Lely Vector Robotic Feeding System, el ROVER Feeding Robot de Rovibec **[12]** y el V1 Ranch Rover de Smooth Ag **[13]**. Estos equipos pueden operar en interiores (tambo) o en campo abierto, utilizando sensores, GPS y software para distribuir cantidades adaptadas a cada grupo de animales.

Ventajas: Aumentan la eficiencia y regularidad en la alimentación, reducen la mano de obra y los costos operativos,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



optimizan el uso de recursos y mejoran la salud y productividad del ganado al garantizar raciones frescas y balanceadas en todo momento.

Desventajas: Alto costo inicial de inversión y mantenimiento, dependencia de la tecnología (energía, conectividad y software), necesidad de capacitación del personal para su uso y posibles dificultades de adaptación en sistemas productivos tradicionales. **[14]**

**Cuadro comparativo - Implementación de tecnologías Agrónomas.**

| Tecnología | Área | Arg. | USA |
|---|---|---|---|
| Collar inteligente | Ganadería | Semi imp. | Semi imp. |
| Estaciones meteorológicas inteligentes | Ganadería Agricultura | No imp. | En Uso. |
| Análisis Genómico | Ganadería | No imp. | Semi imp. |
| Comederos inteligentes | Ganadería | En estudio. | No imp. |
| Robots y maquinarias de alimentación Inteligente | Maquinaria y robótica avanzada | No imp. | En uso. |

**imp: Implementado*

**Conclusiones**

- Como conclusión se puede afirmar que la ganadería argentina, aunque reconocida mundialmente por su calidad de producción, aún enfrenta un retraso en la incorporación de tecnologías de precisión, en comparación con Estados Unidos.
- Argentina, en relación con EEUU se ha quedado en el tiempo en lo que respecta a métodos de producción. Aunque se puede encontrar algún productor que implemente estas nuevas técnicas, la mayoría siguen optando por métodos que les resultan más familiares.
- Por un lado, la no adopción de nuevas tecnologías por parte de los productores se debe a un factor cultural: Los productores tradicionales, los cuales conforman una gran mayoría, confían más en los métodos tradicionales que les vienen funcionando y que pasaron a través de las generaciones. Estos, no le dan importancia a la recopilación y manejo correcto de los datos e índices, que son los que van a evidenciar la eficacia de nuestros manejos o implementaciones.
- Esta nueva adopción de tecnologías podría hacer la diferencia entre las producciones de estos dos países, pero para que esto llegue a ocurrir sería necesario avanzar hacia nuevas políticas que flexibilicen y no ahoguen al sector, además de otros desafíos como la implementación de personal capacitado y las limitaciones en conectividad y soporte técnico en áreas rurales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Agradecimientos**

Agradecemos correspondientes al Prof. Lic. Alberto M. Nigro y a la JTP Ing. Patricia R. Cristaldo por su guía, dedicación y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo.

**Referencias - Bibliografía**.

[1] Infocampo. "En 2024, el PBI del campo creció 31,3% y fue clave para evitar una fuerte caída de la economía". Infocampo. 20 de marzo de 2025. Disponible en: https://www.infocampo.com.ar/en-2024-el-pbi-del-campo-crecio-313-y-fue-clave-para-evitar-una-fuerte-caida-de-la-economia/

[2] Fundación Fada. "Aporte de las Cadenas Agroindustriales al PBI". Río Cuarto, Córdoba. Abril 2024. Disponible en: https://ruralaldia.com/wp-content/uploads/2024/04/Aporte-PBI-Cadenas-agro-2023.pdf

[3] Argentina.gob.ar. "Trazabilidad Individual Electrónica Bovina, Bubalina y Cérvidos". 31 de octubre de 2024. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/trazabilidad-individual-electronica-bovina-bubalina-y-cervidos

[4] Monnet. "Collares inteligentes en la ganadería: cómo funcionan y por qué son importantes". 20 de octubre de 2024. Disponible en:

https://monnet.com.bo/collares-inteligentes-en-la-ganaderia-como-funcionan-y-por-que-son-importantes/

[5] Innogando. "¿Realmente necesito Vallado Virtual en mi ganadería?". 14 de marzo de 2025. Disponible en: https://innogando.com/2025/03/14/pros-y-contras-del-vallado-virtual/

[6] Climate change and animal diseases: making the case for adaptation. Published online by Cambridge University Press: 20 de diciembre de 2012. Disponible en: https://www.cambridge.org/core/journals/animal-health-research-reviews/article/abs/climate-change-and-animal-diseases-making-the-case-for-adaptation/5BDEFE427E003F67925C02E5C33651F6

[7] Jessica Herrera Ojeda y José Herrera Camacho. "Genómica y ganadería: una relación de peso". 28 de marzo de 2025. Disponible en: https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/244-numero-29/449-genomica-y-ganaderia-una-relacion-de-peso.html

[8] C. Gonzalez Viejo, E. Tongson, y F. R. Dunshea. "The livestock farming digital transformation: implementation of new and emerging technologies using artificial intelligence". Animal Health Research Reviews. Cambridge University Press. 9 Junio 2022. Disponible en: https://www.cambridge.org/core/journals/animal-health-research-reviews/article/livestock-farming-digital-transformation-implementation-of-new-and-emerging-technologies-using-artificial-intelligence/3A50E1FBDEA8C13506D479828D7B2F57

[9] Gitnux. "Digital Transformation in the Cattle Industry Statics ". 29 de abril de 2025. Disponible en: https://gitnux.org/digital-transformation-in-the-cattle-industry-statistics/

[10]Ing. Agr. Daniel Musi. "Selección por Consumo Residual". Revista BRANGUS Año 39 N°75 Pág 122. Diciembre 2017. Disponible en: https://brangus.org.ar/revista-2/

[11] Gea. "Gea introduces autonomous feeding robot". 20 de septiembre de 2022. Disponible en: https://www.gea.com/en/news/trade-press/2022/gea-introduces-feeding-robot-f4500

[12] Rovibec "ROVER Feeding robot". 12 de mayo de 2015. Disponible en: https://rovibecagrisolutions.com/en/produit/feeding_robot_autonomous_rover

[13] Smooth Ag. "Robot feeder caters to cattle". 22 de marzo
de 2025. Disponible en: https://smoothag.com/2025/03/22/robot-feeder-caters-to-cattle/?

[14] Campo Galego. "Ventajas e inconvenientes de los sistemas de alimentación robotizada". 30 de octubre de 2020. Disponible en: https://www.campogalego.es/ventajas-e-inconvenientes-de-los-sistemas-de-alimentacion-robotizada/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# IMPLEMENTACIÓN DE DINERO VIRTUAL EN LA SOCIEDAD

**Ferrazzi Leguizamon Giuliana, Gamboa Paula, Garcia Ana Paula, Gavino Agustin, Gerber Agustina, Giusto Federico**

***Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)***

**Abstract**
*El presente trabajo analiza la ciberseguridad de las billeteras virtuales en Argentina, frente al crecimiento sostenido de su uso y los riesgos asociados. Se identificaron las principales amenazas, como phishing, malware y fraudes de ingeniería social, y se evaluó cómo los usuarios perciben la seguridad de estas plataformas. La investigación combinó una revisión teórica con encuestas a usuarios de las billeteras más utilizadas en el país. Los resultados muestran una brecha significativa entre el conocimiento de los riesgos y la aplicación de prácticas seguras, como el uso de contraseñas únicas o la activación de la autenticación multifactor. A partir de estos resultados se elaboraron recomendaciones prácticas para prevenir fraudes, reforzar la protección de los usuarios y fomentar mejores prácticas de uso con estas herramientas financieras.*

**Palabras Clave**
Billeteras virtuales, ciberseguridad, ciberestafas, phishing, malware, seguridad, prevención.

## Introducción

La incorporación de las billeteras virtuales ha transformado la forma en que las personas realizan operaciones financieras, especialmente en América Latina, donde millones de usuarios han adoptado estas plataformas digitales para gestionar su dinero de manera rápida, y accesible desde cualquier dispositivo conectado a internet [1]. Sin embargo, este avance también ha incrementado los riesgos vinculados a la ciberseguridad. La eficiencia de estas herramientas contrasta con su vulnerabilidad frente a ataques informáticos cada vez más sofisticados, diseñados para robar fondos o vulnerar la privacidad de los usuarios. Amenazas como el phishing, el malware y la suplantación de identidad se han vuelto frecuentes, afectando tanto a usuarios inexpertos como experimentados [2].

En este contexto, la presente investigación busca responder a la siguiente pregunta central: ¿Qué tipos de amenazas enfrentan las billeteras virtuales y cómo perciben estos riesgos los usuarios?

A partir de esta problemática, el objetivo general del trabajo es analizar la ciberseguridad de las billeteras virtuales, identificando las principales amenazas y las medidas de protección implementadas por los prestadores del servicio en la República Argentina.

Por consiguiente, los objetivos específicos son: investigar las técnicas de ataque más comunes, como el phishing y el malware, identificar los puntos de entrada más frecuentes, analizar la experiencia y percepción de riesgo de los usuarios y finalmente formular recomendaciones para un uso más seguro y consciente de estas herramientas digitales.

Para ello, la investigación combina una revisión teórica sobre ciberseguridad y tecnologías financieras, con un enfoque empírico basado en encuestas a usuarios para relevar su experiencia, conocimientos y nivel de exposición. Cabe aclarar que el análisis se centra en las billeteras virtuales más utilizadas en la República Argentina,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



examinando medidas de protección y vulnerabilidades técnicas; el alcance del estudio se limita a la ciberseguridad en billeteras virtuales, excluyendo otras áreas como la banca online o el uso de criptomonedas. Esta delimitación permite un análisis más preciso y la elaboración de recomendaciones concretas para mejorar la protección de los usuarios.

## 1. Billetera Virtual

En este apartado y en sus correspondientes subsecciones se explorarán temáticas puntuales vinculadas con lo que es una billetera virtual, detallando: su significado, función, principales características, tipos y diferencias claves con las entidades bancarias, así como también otras definiciones relevantes, asociadas a este tema.

Las billeteras virtuales en pocos años se establecieron como una herramienta indispensable para la gestión del dinero. La facilidad para realizar operaciones financieras e interoperar entre ellas las convirtieron en soluciones versátiles que desafían el modelo bancario tradicional [3]. No obstante, no escapan a los agentes maliciosos que buscan explotar las vulnerabilidades que presentan este tipo de software, perjudicando tanto a usuarios como a prestadores del servicio [4].

### 1.1 ¿Qué es una billetera virtual?

Es un tipo de aplicación que permite gestionar dinero desde un teléfono inteligente. Este software se diseña para que cualquier persona pueda darle uso sin conocimiento previo por lo que el usuario puede realizar diferentes operaciones financieras entre distintas billeteras virtuales o cuentas bancarias, el horario o la ubicación no importan siempre que el dispositivo tenga acceso a internet. En ellas podemos visualizar datos como el dinero disponible o incluso almacenar datos de tarjetas de crédito y débito sin necesidad de portar físicamente las mismas [5].

### 1.2 Funcionamiento general

Para hacer uso de estas el usuario debe descargar la aplicación a un dispositivo compatible y crear una cuenta con la información personal que requiera dicha aplicación. En Argentina exigen fotos del DNI, escaneo facial, número de teléfono, email, entre otros [6]. Luego de la verificación de los datos personales, se le asigna al usuario un código numérico de veintidós dígitos, CVU o CBU, y otro código llamado ALIAS el cual puede ser alfabético y más corto; CVU significa Clave Virtual Uniforme, mientras que CBU significa Clave Bancaria Uniforme, el tipo asignado depende de los servicios que presta la compañía responsable de la aplicación [7]. Una vez completado el registro se habilitan diferentes operaciones, entre las más comunes se encuentran recibir dinero desde una cuenta bancaria u otra billetera virtual, abonar todo tipo de servicios, transferir dinero, recargar crédito a número de teléfono, recargar tarjeta de transporte realizar pagos por código QR o Contactless mediante NFC, pagar con tarjetas de crédito o débito propias de la billetera o de otras entidades financieras vinculadas las mismas previamente y recientemente se permite operar con dólares estadounidenses (USD) [6].

Por otra parte, las billeteras virtuales son cada vez más comunes. Además, la encuesta realizada revela que un 50% afirma conocer más de 5 billeteras virtuales. Sin embargo, para tomar decisiones informadas y proteger sus finanzas, es clave comprender las diferencias entre ellas. Por ello, a continuación, se mencionarán datos clave sobre los tipos de billeteras virtuales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 1.3 Tipos de Billeteras Virtuales

En Argentina una clasificación posible es según su origen, billetera virtual asociada a un banco tradicional o billetera virtual obligados a adoptar el modelo de billetera virtual [8]. Las más populares según la encuesta realizada para esta investigación, son las siguientes: Mercado pago, BNA+, Ualá, Naranja X, MODO, Personal Pay, AstroPay, Prex, Belo, Cuenta DNI. En primer lugar, como billetera virtual más conocida esta Mercado Pago y en último lugar Cuenta DNI.

## 2. Ciberseguridad

En esta segunda sección se procede con la descripción de temas específicos, como lo son las definiciones de ciberseguridad, phishing y malware. Además, se detallan los datos y tipos de ciberestafas, y haciendo un análisis más profundo de todo lo que implica y conlleva el phishing en sí, desde sus diferentes derivaciones hasta las formas de prevenirlo.

### 2.1 ¿Qué es la ciberseguridad?

La ciberseguridad se refiere a todas las tecnologías, prácticas y políticas para prevenir los ciberataques o mitigar su impacto. Su propósito principal es proteger los sistemas informáticos, las aplicaciones, los dispositivos, los datos, los activos financieros y las personas contra el ransomware y otros malware, las estafas de phishing, el robo de datos y otras ciber amenazas [9].

### 2.2 Datos y tipos de ciberestafas

Según el CERT del estado argentino en el 2023, el 76% de los usuarios de internet ha experimentado algún tipo de fraude online, desde la suplantación de identidad hasta la compra de productos falsificados o la perdida de datos personales sensibles [10].

asociada a una fintech. Fintech refiere a una empresa que ofrece soluciones financieras mediante canales digitales para cualquier persona exigiendo pocos requisitos, por lo que los bancos tradicionales se vieron
Entre los diferentes tipos de ciberestafas. Entre ellas, se encuentran varias que derivan del phishing, es decir, la suplantación de identidad. Dentro de estas se incluye el phishing por correo electrónico, el vishing a través de llamadas, el smishing mediante mensajes SMS, el QRshing mediante códigos QR y el pharming, que consiste en la suplantación a través de un sitio web ilegítimo [11].

### 2.3 Definición de phishing

La palabra phishing origina del inglés “fishing”, que significa “pesca” [12]. Es una técnica de ingeniería social que usan los ciberdelincuentes para obtener información confidencial de los usuarios de forma fraudulenta y así apropiarse de la identidad de esas personas [13].

### 2.4 Modalidades y como prevenir el phishing

Los ciberdelincuentes utilizan distintos medios como correos electrónicos, mensajes y llamadas por aplicaciones como WhatsApp, sitios web, redes sociales e incluso mediante anuncios maliciosos [13].

Para prevenir este tipo de fraudes, resulta fundamental permanecer atento a las señales de alerta que se podrían presentar.
Es necesario desconfiar de mensajes no solicitados y evitar acceder a enlaces incluidos en ellos, ingresando siempre las direcciones de manera manual en el navegador. Del mismo modo, conviene prestar atención a posibles señales de alerta, como errores ortográficos, redacciones incoherentes o solicitudes de datos personales, ya que las entidades legítimas no recurren a estas prácticas [13].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La protección también requiere del apoyo de herramientas técnicas. Mantener actualizado el antivirus, asegurarse de que los sitios visitados utilicen conexión segura mediante HTTPS y activar la verificación en dos pasos de información. Finalmente, el uso de contraseñas únicas y seguras para cada servicio resulta fundamental para mantener una protección contra el phishing. La clave para reducir los riesgos es combinar la precaución activa con seguridad técnica [11].

### 2.5 Malware

Por otro lado, se presenta otro tipo de agente que atenta contra la ciberseguridad el malware, el cual es un software malintencionado para dañar u obtener acceso no autorizado a sistemas informáticos, en este caso al dispositivo móvil del usuario ya sea Android o iOS. El sistema es infectado con el objetivo de robar datos sensibles e incluso para extorsionar a las víctimas a cambio de pagos en criptomonedas [14].

## 3. Gravedad y relevancia del problema

En la actualidad resulta de gran importancia informarse sobre las billeteras virtuales debido a su constante crecimiento de uso e influencia en la sociedad. Durante los últimos años, el uso de billeteras virtuales ha crecido de manera exponencial tanto a nivel global como en América Latina, transformando los hábitos financieros de millones de personas. Para entender mejor esta problemática, se realizó una encuesta entre el 15 y el 19 de agosto de 2025, en la cual se entrevistó a 90 participantes con un cuestionario que constó de 26 preguntas de opción múltiple, difundido mediante la plataforma Google Forms.
La encuesta revela que el 96,6% de los usuarios utiliza billeteras virtuales, evidenciando su consolidación como herramienta financiera. No obstante, persiste una confianza sin bases sólidas, ya que el 76,7% las considera seguras pese a tener un conocimiento medio o bajo sobre su funcionamiento. Además, el 57% solo lee por encima los términos y condiciones y más de la mitad duda del respaldo institucional de estas plataformas. Esta situación deriva en prácticas riesgosas, como no cambiar contraseñas (70,9%) o usar la misma clave en distintas plataformas (44,2%). Aunque solo el 7% ha sido víctima directa de estafas, el 40% conoce casos cercanos, siendo el phishing el fraude más frecuente. De acuerdo el informe **Global Findex 2021** del Banco Mundial, más del 34 % de los adultos en países en desarrollo ya utiliza una billetera digital o una cuenta de dinero móvil para realizar pagos, lo que representa un salto significativo respecto a años anteriores. En Argentina, este fenómeno se ha intensificado aún más: **el país lidera el uso de billeteras virtuales en la región**, con un 74 % de los adultos usando aplicaciones como Mercado Pago, Ualá o Modo para sus transacciones cotidianas (TN, 2025). Dentro del ranking de billeteras más utilizadas podemos encontrar Mercado Pago (74%), Cuenta DNI (28%), Naranja X (28%), BNA+ (21 %), Personal Pay (18 %) y MODO (18%).

En primer lugar, una investigación reciente de **Página/12 (2024)** revela que, en promedio, cada usuario argentino tiene al menos dos billeteras activas, y más del 60 % las utiliza como medio principal para pagar en comercios físicos. Este crecimiento no solo responde a la comodidad y accesibilidad que ofrecen estas herramientas, sino que además a fenómenos como la bancarización digital acelerada durante la pandemia y la búsqueda de alternativas ágiles frente a la inflación. No obstante, este mismo crecimiento ha generado **nuevos desafíos en materia de ciberseguridad**, especialmente en usuarios que adoptaron estas tecnologías sin una preparación adecuada frente a los riesgos que conllevan.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por otra parte, los resultados de la encuesta realizada por nuestro equipo, revelan una preocupante desconexión entre la percepción de riesgo y las prácticas de seguridad de los usuarios de billeteras virtuales. Si bien un significativo 40% de los encuestados conoce a alguien cercano que ha sido víctima de fraude, lo que debería generar una actitud de cautela, la realidad es que continúan existiendo comportamientos y prácticas irresponsables. De hecho, un alarmante 70% de los usuarios encuestados admite no cambiar jamás sus contraseñas, lo que evidencia la falta de relevancia que se le toma a la seguridad en este ámbito. Esta despreocupación, sumada al creciente perfeccionamiento de las técnicas de ataques cibernéticos, crea un escenario favorable para el fraude y el robo de información. En consecuencia, para demostrar la magnitud del problema, a continuación, se presentarán casos de ciberestafas sufridas por empresas de renombre, demostrando que la vulnerabilidad no se limita a los usuarios particulares y evidenciando las grandes pérdidas económicas que puede acarrear la falta de atención e información en materia de ciberseguridad.

La Dirección Nacional de Ciberseguridad informa que el phishing fue la amenaza principal en 2023, representando el 75,5% de los casos en el sector financiero, con las fintech y billeteras virtuales sufriendo intentos de fraude en el 100% de reportes. Entre un 20% y 25% de usuarios de bancos digitales han sido blanco de intentos de fraude, especialmente quienes no están alerta o reciben comunicaciones falsas.
En nuestro país, en el último tiempo, se han registrado casos de phishing que tuvieron por objetivos a plataformas de contenido online y hasta a municipios y la banca pública. A continuación, mencionamos algunos casos resonantes a nivel mundial con el fin de sensibilizar y concientizar sobre el tema.

### 3.1 Medidas a tener en cuenta para la prevención de ciberataques

En este sentido, la ciberseguridad es el conjunto de medidas técnicas y organizativas destinadas a proteger los sistemas, las aplicaciones y los datos frente a accesos no autorizados, suplantación de identidad, robo de información o fondos, y otros ciberataques. Su objetivo es garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información, mediante prácticas como la autenticación multifactor, el cifrado de datos, la monitorización de transacciones y la emisión de alertas ante operaciones sospechosas.

Sin embargo, a pesar de las numerosas recomendaciones de seguridad disponibles, los resultados de nuestra encuesta revelan un contraste entre el conocimiento teórico y la aplicación de las medidas preventivas contra ciberataques en billeteras virtuales.

Un claro ejemplo de esta desconexión es el uso de la misma contraseña en varias plataformas. A pesar de los riesgos evidentes que esto implica, un alarmante 44,2% de los encuestados admitió utilizar la misma clave para acceder a diferentes servicios online, mientras que otro 11,6% se mostró inseguro al respecto, lo que sugiere una posible falta de conciencia sobre la importancia de utilizar contraseñas únicas y seguras. Asimismo, la encuesta reveló un nivel significativo de incertidumbre en cuanto a la eficacia de las medidas de seguridad implementadas en las billeteras virtuales. Más de la mitad de los encuestados (51,2%) afirmó no saber si las medidas de seguridad de sus billeteras son suficientes, lo que indica una falta de comprensión sobre cómo funcionan estas medidas y cómo protegerse adecuadamente contra los ataques. Esta incertidumbre, combinada con el uso de contraseñas débiles y la falta de aplicación de otras prácticas seguras, crea un escenario

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



propicio para el fraude y el robo de información.

Por lo tanto, ante esta situación, resulta fundamental recordar y reforzar las medidas clave para la prevención de ciberataques en billeteras virtuales. A continuación, se presentan una serie de recomendaciones prácticas que pueden ayudar a los usuarios a proteger su información personal y financiera y a evitar ser víctimas de fraudes online:
Nunca compartir información personal, bancaria ni códigos de verificación. Es importante recordar que los bancos y organismos oficiales no solicitan la modificación de datos, claves ni el envío de ningún tipo de código por ningún canal; no abrir enlaces que lleguen por WhatsApp, Telegram u otras aplicaciones, incluso si el contacto parece legítimo, con nombres como "Mesa de ayuda" o fotos similares a entidades reconocidas; en caso de recibir llamadas, mensajes o correos ofreciendo préstamos u otros servicios financieros, no respondas de inmediato. Siempre es conveniente verificar la autenticidad contactando directamente a la entidad a través de sus canales oficiales, de igual modo ante mensajes sobre errores en transferencias, no brindar información ni seguir instrucciones sin antes consultar con el banco; jamás operar en el cajero automático, en la app o desde home banking mientras estás en comunicación con alguien que dice ser del banco. En esos casos, debe cortar la llamada y contactar por medios oficiales.

Activar el doble factor de autenticación en todas sus aplicaciones, usar contraseñas seguras y actualizadas con frecuencia. Evitar guardarlas en el navegador y procurar no usar redes públicas. Además, desactivar funciones como bluetooth, wifi o NFC cuando no las estés usando para prevenir conexiones automáticas; es también de vital importancia prestar especial atención a los correos recibidos debido a que los remitentes falsos suelen parecer casi idénticos a los Originales [11].

### 3.2 Requisitos mínimos de seguridad

En paralelo, en Argentina, el uso masivo de billeteras virtuales ha llevado al Banco Central de la República Argentina (BCRA) a establecer una serie de **requisitos mínimos de seguridad** que deben cumplir los Proveedores de Servicios de Pago que ofrecen cuentas de pago (PSPCP). Entre las medidas obligatorias se encuentran la **autenticación multifactor**, el **cifrado de datos sensibles**, la **monitorización de transacciones en tiempo real** y la **emisión de alertas automáticas ante operaciones sospechosas** (BCRA, 2023). Estas disposiciones buscan proteger a los usuarios frente a amenazas como accesos no autorizados, suplantación de identidad o robo de fondos. No obstante, la eficacia de estas medidas depende en gran parte de su correcta implementación técnica y del nivel de conocimiento del usuario respecto al uso seguro de estas herramientas digitales [15].

### 3.3 ¿Qué hacer en caso de ser víctima de ciberestafas? ¿La ley me ampara?

En cuanto a la dimensión social, los resultados de la encuesta revelan un cierto nivel de conciencia entre los usuarios de billeteras virtuales sobre los riesgos de ciberestafas. La gran mayoría (90,7%) afirma que tomaría medidas para verificar la legitimidad de un contacto sospechoso, y la principal acción que considerarían ante una estafa es contactar a la billetera virtual (91,9%). Sin embargo, es preocupante la limitada disposición a recurrir a acciones legales más formales.

No obstante, a pesar de la conciencia básica sobre los riesgos y la confianza inicial en la billetera virtual demostrada con los resultados, solo un porcentaje menor

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



consideraría presentar una denuncia policial (37,2%) o tomar acciones legales (15,1%). Esta falta de conocimiento sobre sus derechos y opciones legales deja a los usuarios en una situación de vulnerabilidad. Por ello, resulta fundamental destacar que los usuarios de billeteras virtuales en Argentina cuentan con la protección de la Ley, a continuación, exponemos recomendaciones de acción ante tal situación.

En primer término, ante una ciberestafa lo primero que debe hacerse es denunciarla, ya sea en la comisaría más cercana o en la oficina receptora de denuncias correspondiente a tu domicilio, o bien comunicarte con la Unidad Fiscal Especializada en Ciberdelincuencia (UFECI) por correo electrónico, o ante la División Delitos Tecnológicos de la Policía Federal Argentina, esta vía es esencial para activar la investigación y proteger tus derechos como usuario.

Ante una ciberestafa, el primer paso es denunciar el hecho en la comisaría, fiscalía o autoridad competente, y conservar todas las pruebas disponibles, como capturas de pantalla, correos, mensajes y comprobantes. [16] Si el fraude involucra una billetera virtual, es importante notificar de inmediato al proveedor del servicio para bloquear la cuenta o la operación. En el plano legal, además de las disposiciones del Código Penal, la Ley de Defensa del Consumidor N.º 24.240 otorga herramientas para la protección de los usuarios de billeteras virtuales. El artículo 4 establece el deber de información, que obliga a los proveedores a brindar datos claros y completos sobre seguridad, prevención de riesgos, posibles fraudes y canales oficiales de contacto. El artículo 5 impone el deber de seguridad, exigiendo que las operaciones realizadas a través de plataformas y aplicaciones financieras sean seguras, previniendo riesgos que comprometan la seguridad, datos personales o intereses económicos, en concordancia con el artículo 42 de la Constitución Nacional. El artículo 40 fija la responsabilidad solidaria por daños, haciendo responsables a todos los proveedores de la cadena de comercialización. Finalmente, el artículo 8 bis consagra el trato digno y equitativo, que obliga a las empresas a atender a los consumidores víctimas de ciberdelitos con respeto y sin discriminación. Estas garantías convierten a la LDC en un respaldo clave para reclamar y obtener una respuesta adecuada frente a fraudes en billeteras virtuales.

### 3.4 Métodos utilizados por los ciberdelincuentes para cometer sus ataques

Los ciberdelincuentes utilizan distintos métodos para engañar, adaptándose a cada situación para parecer confiables. Muchas veces se hacen pasar por un familiar, un conocido o un compañero de trabajo, generando cercanía para obtener información. Otras veces simulan ser técnicos o responsables del área de sistemas de una empresa, intentando convencer a la víctima de realizar acciones urgentes. También suelen atraer con premios o promociones supuestamente exclusivas y por tiempo limitado, o invitan a completar formularios con la excusa de ganar un producto o participar en un sorteo. En otros casos, ofrecen falsas actualizaciones de navegadores o aplicaciones a través de páginas diseñadas para parecer legítimas [17].

Estos intentos de engaño pueden llegar por diferentes canales: mensajes de WhatsApp, correos electrónicos, llamadas telefónicas o redes sociales. La variedad de medios y estrategias busca confundir y apurar a la víctima, por eso es clave estar atentos y desconfiar de cualquier contacto inesperado [17].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Conclusión y Trabajos Futuros**

La investigación muestra que hay una alta vulnerabilidad en los usuarios de billeteras virtuales en Argentina, originada tanto de las sofisticadas técnicas de ciberataque como de prácticas de seguridad ineficiente de parte de los usuarios. La encuesta muestra que un 27,9% de los usuarios utiliza la billetera virtual como su único método de pago, incrementando su dependencia y exposición al riesgo. Por otro lado, más de la mitad (51,2%) desconoce si las medidas de seguridad de su billetera son suficientes, reflejando una alarmante falta de claridad y confianza en las protecciones implementadas. Esta también muestra comportamientos de riesgo generales: ya que un 70% de los usuarios admite no cambiar nunca sus contraseñas, y un 44,2% utiliza la misma clave para múltiples plataformas, facilitando el acceso no autorizado a sus cuentas. A pesar de que un 40% conoce a alguien que ha sido víctima de fraude, lo que indica que hay una conciencia sobre el riesgo, esta percepción no se traduce en la adopción de prácticas preventivas más robustas. En el ámbito legal, si bien existe un alto nivel de conciencia sobre los pasos iniciales ante una estafa (el 91,9% contactaría primero a la billetera virtual), la disposición a emprender acciones legales formales es significativamente baja: solo un 37,2% consideraría realizar una denuncia policial y un 15,1% acciones legales, lo que deja a los usuarios en una posición de vulnerabilidad jurídica.

La investigación remarca la necesidad crítica de fortalecer la ciberseguridad en el ecosistema de billeteras virtuales, destacando la importancia de la conciencia del usuario y la aplicación efectiva de medidas de protección. A pesar de la conveniencia que ofrecen, las billeteras virtuales son objetivos constantes de ataques, siendo el phishing la amenaza más prevalente. La efectividad de las medidas de seguridad depende principalmente de la conducta del usuario, quien debe adoptar prácticas de seguridad necesarias, como la verificación de comunicaciones, el uso de autenticación de dos factores (2FA) y contraseñas complejas, así como la desconfianza ante solicitudes extrañas.

Los resultados muestran una brecha crítica entre el conocimiento de los riesgos y la implementación práctica de medidas de seguridad por parte de los usuarios. Esta desconexión, sumada a la dependencia que genera el uso exclusivo de estas plataformas, configura un escenario de alta vulnerabilidad. Por tanto, es importante cerrar esta brecha mediante campañas de educación y concientización que traduzcan la percepción del riesgo en acciones concretas y habituales de autoprotección.

Una protección efectiva de las billeteras virtuales requiere una estrategia total que combine los avances tecnológicos y el cumplimiento de los requisitos del BCRA por parte de los proveedores, con una educación continua del usuario y un marco legal sólido y conocido. Fortalecer a los usuarios mediante el conocimiento de sus derechos, los procedimientos de denuncia y las prácticas de seguridad básicas es tan importante como las defensas técnicas para reducir el impacto de los ataques e impulsar una confianza sostenible en
el entorno digital financiero. La investigación puede aplicarse en la seguridad informática mediante la identificación de amenazas digitales y el fortalecimiento de medidas preventivas en sistemas financieros. El estudio de técnicas como el phishing y el malware permite desarrollar estrategias de protección más efectivas. Además, las recomendaciones sobre autenticación multifactor, cifrado y buenas prácticas de uso contribuyen a mejorar la seguridad de las plataformas digitales y la protección de los datos de los usuarios.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Agradecimientos**

Docente tutora: Luciana Valiente.
Materia: Sistemas y Procesos de Negocios.

**Referencias**

[1] Thomson Reuters, "El Auge de las billeteras virtuales en Argentina y sus beneficios para las pequeñas empresas y emprendedores". Argentina, 21-11-2023. Disponible en: https://tinyurl.com/2s3wcusk, accedido 23-07-2025.
[2] El eco de Sunchales, "Ola de robos en billeteras y bancos: cómo te sacan datos, tus cuentas y cuánto crecieron las estafas". Santa Fe, Argentina, 22-06-2024. Disponible en: https://tinyurl.com/yrphe2x5, accedido 23-07-2025.
[3] BBVA, "El uso de las billeteras virtuales gana terreno en Argentina". Argentina, 11-07-2024. Disponible en: https://www.bbva.com/es/ar/salud-financiera/el-uso-de-las-billeteras-virtuales-gana-terreno-en-argentina/, accedido 25-07-2025.
[4] Arturo López Valerio, "Mitigando los riesgos de las billeteras digitales". República Dominicana, 08-10-2024. Disponible en: https://acento.com.do/opinion/mitigando-los-riesgos-de-las-billeteras-digitales-9405420.html, accedido 25-07-2025.
[5] BBVA, "¿Qué es una billetera virtual?". Argentina, 05-08-2024. Disponible en: https://tinyurl.com/5x935peh, accedido 26-07-2025.
[6] BCRA, "BNA+, todo tu banco en el celular". Argentina, 09-01-2024. Disponible en: https://bna.com.ar/personas/bnamas, accedido 26-07-2025.
[7] Diego Martel, "CVU o CBU: Qué diferencia hay y para qué sirven en Argentina". Argentina, 08-08-22. Disponible en: https://wise.com/ar/blog/cvu-o-cbu, accedido 01-08-2025.
[8] Ámbito, "Ya son 34 las billeteras virtuales que se disputan el mercado de pagos digitales en la Argentina". Argentina, 03-07-2021. Disponible en: https://www.ambito.com/economia/billetera-digital/ya-son-34-las-billeteras-virtuales-que-se-disputan-el-mercado-pagos-digitales-la-argentina-n5213342, accedido 30-07-2025.
[9] Fortinet, "Ciberseguridad: Significado y definición". Estados Unidos, (s.f.). Disponible en: https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/what-is-cybersecurity, accedido 01-08-2025.
[10] Secretaría de Industria y Comercio, "Ciberestafas y reclamos de consumo". CABA, Argentina. 01-08-2024. Disponible en: https://tinyurl.com/2ppwfs66, accedido 30-07-2025.
[11] Dirección Nacional de Ciberseguridad, "Phishing". Argentina, 01-10-2021. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/10/informe_phishing_1.pdf, accedido 29-07-2025.
[12] Banco Santander, "¿Qué es el phishing y cómo combatirlo?". España, (s.f). Disponible en: https://tinyurl.com/yckaxdzc, accedido 30-07-2025.
[13] Ministerio de Justicia, "¿Qué es el phishing?". 01-06-2025. Disponible en: https://tinyurl.com/5n7nhxk7, accedido 01-08-2025.
[14] Microsoft, "¿Qué es el malware?". Estados Unidos, (s.f.). Disponible en: https://www.microsoft.com/es-ar/security/business/security-101/what-is-malware, accedido 30-07-2025.
[15] BCRA, "El BCRA reforzó las medidas para mejorar la seguridad de las billeteras digitales". Argentina, 24-02-2022. Disponible en: https://www.bcra.gob.ar/noticias/Medidas-para-evitar-fraudes-billeteras-electronicas.asp, accedido 03-08-2025.
[16] Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología, "Denunciar un delito informático". Argentina, (s.f.). Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/servicio/denunciar-un-delito-informatico, accedido 04-08-2025.
[17] Oscar Morales Ramirez, "Ciberfraude: Principales Métodos de Ataque y Estrategias para su Prevención". México, 10-05-2025. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/393414955, accedido 26-07-2025.

**Datos de Contacto:**

*Nombres y apellidos:*
*Ferrazzi Leguizamon Giuliana,*
*Gamboa Paula,*
*Garcia Ana Paula,*
*Gavino Agustin,*
*Gerber Agustina,*
*Giusto Federico*

*Institución: Universidad Tecnológica Nacional*
*Concepción del Uruguay.*
*Dirección postal: Ingeniero Pereira 676, (3260)*
*Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.*

*Emails:*
*agusgerber01@gmail.com*
*federgiusto@gmail.com*
*garciaanapaula516@gmail.com*
*gavino.agustin3@gmail.com*
*giulianaferrazzi07@gmail.com*
*paulagamboa019@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Robótica inclusiva: Control de robots impresos en 3D mediante aplicaciones móviles

**Galizio, Carla Romina**
***Laboratorio de Robótica Física e IA - Centro de altos estudios en tecnología informática Universidad Abierta Interamericana Buenos Aires, Argentina CarlaRomina.Galizio@alumnos.uai.edu.ar***

**Montiel Torres, Matias Nicolas**
***Laboratorio de Robótica Física e IA - Centro de altos estudios en tecnología informática Universidad Abierta Interamericana Buenos Aires, Argentina MatiasNicolas.MontielTorres@alumnos.uai.edu.ar***

**Rossi, María Florencia**
***Laboratorio de Robótica Física e IA - Centro de altos estudios en tecnología informática Universidad Abierta Interamericana Buenos Aires, Argentina MariaFlorencia.Rossi@alumnos.uai.edu.ar***

**Bolivar, Magali**
***Laboratorio de Robótica Física e IA - Centro de altos estudios en tecnología informática Universidad Abierta Interamericana Buenos Aires, Argentina MagaliFlorencia.BolivarCruz@alumnos.uai.edu.ar***

## Resumen

*Este estudio presenta un sistema de control para operar un robot impreso en 3D utilizando los sensores de un dispositivo móvil, como el acelerómetro y el giróscopo. El objetivo principal es ofrecer una alternativa inclusiva a los controles remotos tradicionales, facilitando una interacción más intuitiva y accesible para una amplia variedad de usuarios. La aplicación móvil fue desarrollada en App Inventor y se conecta a una placa ESP32 NodeMCU a través de Bluetooth. Esta configuración permite el control del robot mediante los movimientos del usuario, eliminando la necesidad de botones o conocimientos técnicos avanzados. "El proyecto abre nuevas estrategias inclusivas en la interacción tecnológica. Su implementación tiene un fuerte impacto educativo al reducir la curva de aprendizaje en robótica y programación, promoviendo un enfoque práctico y lúdico. Los beneficios se extienden a la mejora de la calidad de vida, la integración social y la autonomía para quienes lo necesitan.*

**Palabras Clave**
Móvil, Robot, Tecnología inclusiva, ESP32, Dispositivos Móviles, IoT, MQTT, App Inventor, Acelerómetro, Giroscopio.

## Introducción

Hoy en día, controlar robots es más fácil gracias a nuevas tecnologías y programas visuales que permiten usarlos en diferentes ámbitos. Esto facilita su implementación en diversos entornos. En este contexto, App Inventor se presenta como una alternativa viable para el desarrollo rápido de aplicaciones de control, permitiendo la creación de interfaces intuitivas sin necesidad de conocimientos avanzados en programación.

Este proyecto propone el desarrollo de una aplicación móvil para operar un robot impreso en 3D, utilizando App Inventor, la IDE de Arduino y conectividad Bluetooth con una placa ESP32. La integración de sensores de movimiento, como el acelerómetro y el giroscopio, permite controlar el robot de manera natural e intuitiva, abriendo nuevas posibilidades de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



uso para personas con dificultades motoras o limitaciones en el manejo de interfaces convencionales.
La integración de tecnologías accesibles en la enseñanza de la robótica no solo promueve la inclusión, sino que también simplifica el aprendizaje y fomenta la experimentación. Este enfoque favorece el desarrollo de competencias en programación y electrónica, estimulando la creatividad y el pensamiento lógico en los estudiantes. [4]; [10]

## Línea de investigación y desarrollo

El proyecto fue realizado como parte de la asignatura Robótica de 3º año de Ingeniería en Sistemas, desarrollándose dentro del Laboratorio de Robótica Física e Inteligencia Artificial (LRFIA) del CAETI – Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática de la Universidad Abierta Interamericana (UAI). Se diseñó un sistema de control que permite operar un robot 3D mediante los sensores de movimiento de un dispositivo móvil, como el acelerómetro y el giroscopio. [5]

## Conexión Bluetooth con ESP32

Para establecer la comunicación entre la aplicación móvil y el robot, se utilizó el módulo Bluetooth integrado en la ESP32. Esta conexión permite que la placa reciba los comandos enviados por la app y los traduzca en movimientos específicos, lo que asegura una interacción fluida y de baja latencia. El robot cuenta con dos motores de corriente continua manejados por un driver H que controla las ruedas de manera independiente.

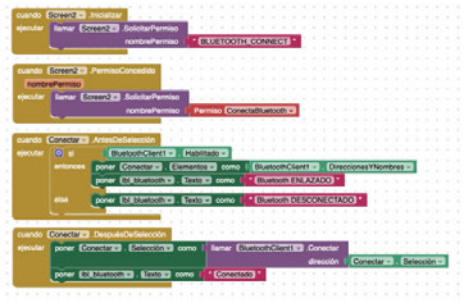


Figura 1. Ejemplo de la conexión por Bluetooth en App Inventor.

## Uso de app inventor

La aplicación móvil fue desarrollada en App Inventor, un entorno de programación visual que facilita su diseño e implementación. Se priorizó la creación de una interfaz intuitiva, minimizando el uso de texto e incorporando elementos gráficos de fácil comprensión. Este enfoque permite que una amplia variedad de usuarios, sin experiencia previa en programación, puedan usar la aplicación. [6]



Figura 2. Visualización de la interfaz de la aplicación de App Inventor.

## Creación de Interfaz UX

Con el objetivo de garantizar una experiencia accesible e intuitiva, se diseñó una interfaz basada en iconografía visual y controles táctiles, eliminando la necesidad de habilidades de lectura avanzadas. La interfaz refleja en tiempo real los movimientos del usuario captados por el giróscopo y el acelerómetro del dispositivo móvil, permitiendo el control del robot mediante inclinaciones y gestos. Se incorporaron indicadores dinámicos de orientación y velocidad para brindar retroalimentación instantánea. [8]

## Construcción de Chasis y Robot

El chasis del robot se fabricó mediante impresión 3D, lo que garantiza una estructura liviana y resistente. Se integró la ESP32 como microcontrolador principal y el diseño se optimizó para facilitar su ensamblaje y mantenimiento. [7]

## Impacto en la educación

La incorporación de esta tecnología en el ámbito educativo facilita el aprendizaje de robótica y programación al eliminar barreras técnicas y hacer que la experiencia sea más accesible para estudiantes de distintos niveles. Gracias a una interfaz intuitiva y visual, los alumnos pueden interactuar con el robot de manera sencilla, comprendiendo conceptos clave sin necesidad de conocimientos avanzados.

Este enfoque fomenta el aprendizaje basado en la experimentación y la resolución de problemas, promoviendo el pensamiento lógico y creativo. Además, su fácil implementación permite que docentes de diversas áreas puedan integrarlo en sus

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



clases, ampliando las oportunidades de enseñanza en instituciones educativas. [4]

## Resultados

Se logró establecer de manera exitosa la comunicación Bluetooth entre la ESP32 y la aplicación móvil. Se diseñó en App Inventor una interfaz gráfica accesible, pensada para que cualquier usuario pueda manejarla con facilidad. La incorporación del acelerómetro y el giroscopio permitió implementar un control basado en movimientos naturales, evitando el uso de botones complejos y reduciendo la necesidad de conocimientos técnicos previos.

Asimismo, se construyó un robot completamente funcional utilizando un chasis fabricado mediante impresión 3D. La interacción entre el usuario y el robot se llevó a cabo de forma intuitiva, validando tanto la accesibilidad como la inclusión de la aplicación, y facilitando que un mayor número de personas puedan relacionarse con la tecnología de manera práctica y efectiva. [9].

Se optimizó el sistema de respuesta del robot, logrando un control más preciso y fluido gracias a mejoras en el procesamiento de los datos obtenidos por el acelerómetro y el giroscopio. Se incorporan nuevas opciones de personalización, permitiendo al usuario ajustar la sensibilidad del movimiento y adaptar la interfaz según sus necesidades. Mejoramiento en la estabilidad de la comunicación Bluetooth, reduciendo posibles interferencias y asegurando una conexión más rápida y confiable entre la ESP32 y la aplicación móvil. Asimismo, se amplió la retroalimentación visual de la interfaz mediante la incorporación de indicadores dinámicos que muestran en tiempo real la dirección y la velocidad del robot, lo que enriquece la experiencia de su uso.

## Trabajos Relacionados

El desarrollo de este proyecto se enmarca en la creciente exploración de tecnologías inclusivas y la aplicación de la robótica educativa. La literatura científica actual evidencia un interés por el uso de herramientas de programación visual y la integración de sensores de dispositivos móviles para el control de sistemas robóticos. Se han documentado proyectos que exploran tecnologías para la comunicación y movilidad de personas con discapacidad, incluyendo el control de prótesis robóticas mediante neuro señales. En este sentido, la propuesta a futuro de este estudio, que planea incorporar una diadema con tecnología EEG para el control del robot a través de la actividad mental, representa un avance significativo hacia una robótica asistida más avanzada e inclusiva. Este enfoque se diferencia de los trabajos previos al ofrecer una alternativa innovadora para usuarios con movilidad reducida. [6]

## Conclusión y trabajos futuros

Como parte de las mejoras futuras, se está desarrollando un sistema de control basado en una diadema con tecnología EEG, utilizando los sensores eSense de NeuroSky. Estos sensores permiten detectar las ondas cerebrales alfa y beta, asociadas con los estados de atención y meditación, lo que posibilitará el control del robot mediante la actividad mental del usuario.



Figura 3. Simulación con diadema EEG y chasis del robot.

La integración de esta tecnología ampliará las opciones de interacción humano-robot, ofreciendo una alternativa innovadora y accesible para personas con diferentes capacidades. De este modo, el sistema podrá adaptarse a usuarios con movilidad reducida, permitiéndoles operar el robot sin necesidad de realizar movimientos físicos. Esta evolución refuerza el compromiso del proyecto con la accesibilidad y la inclusión tecnológica, abriendo nuevas posibilidades en el campo de la robótica asistida.

## Reconocimiento y agradecimiento

A la Universidad Abierta Interamericana (UAI) y al Laboratorio de Robótica Física e Inteligencia Artificial (LRFIA) del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI), por brindar el espacio y los recursos necesarios para el desarrollo de este proyecto, en el marco de la asignatura Robótica de 3º año de Ingeniería en Sistemas.
Agradecemos a los profesores Mg. Néstor Adrián Balich e Ing. Franco Adrián Balich, con el acompañamiento de la auxiliar de cátedra Berenice Lourdes Balich, docentes especialistas en IoT, robótica e impresión 3D, por su valiosa supervisión técnica y metodológica. Su guía fue fundamental en cada etapa del desarrollo de este proyecto y nos permitió materializar en este trabajo los conocimientos aprendidos en la materia y durante la pasantía en el LRFIA.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Referencias

[1] Tecnología asistida para la comunicación y movilidad de personas con discapacidad motriz. (2019) *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones.* URL: https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Informaticaysistemas/article/download/1958/2175.

[2] Villarroel F. M. J., & Villarroel G. C. H. (2014). Sistema inalámbrico inteligente de apoyo a personas que sufren de discapacidad cognitiva. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200002

[3] Rios-Arismendy, S., Ochoa-Gómez, J. F., & Serna-Rojas, C. (2021). Revisión de electroencefalografía portable y su aplicabilidad en neurociencias. Revista Politécnica, URL:https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1851/1931 DOI: https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a9

[4] M. C. Castañeda Barbarán, "*Desarrollo de robots prototipos interactivos digitales para el aprendizaje de la programación con tecnología ARDUINO para fortalecer la enseñanza de las fases de robótica a docentes de UGEL Chiclayo*" Bachelor's thesis, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2018. DOI: 20.500.12893/9178

[5] R. A. Jaimes, "Control de Robot de Internet de las cosas (IoT) a través de la placa de desarrollo ESP32," Thesis for Telecommunications Engineering, June 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.27059.95522.

[6] Poveda-Pineda, Derly F., & Cifuentes-Medina, José E.. (2020). Incorporación de las tecnologías de información y comunicación (TIC) durante el proceso de aprendizaje en la educación superior. Formación universitaria, 13(6), 95-104. DOI: 10.4067/S0718-50062020000600095

[7] T. Lobato de Souza y L. Sato Elisiario, "Educational Robotics Teaching with Arduino and 3D Print Based on Stem Projects", Simposio Latinoamericano de Robótica (LARS) de 2019, Simposio Brasileño de Robótica (SBR) de 2019 y Taller sobre Robótica en Educación (WRE) de 2019, Rio Grande, Brasil, 2019, pp. 407-410. DOI: 10.1109/LARS-SBR-WRE48964.2019.00078.

[8] E. González y J. Pérez, "Remote control of educational robots using MQTT and mobile applications," Journal of Robotics and Automation, vol. 7, no. 3, pp. 45–58, 2021. doi: 10.1234/jra.2021.0345.

[9] T. Mikolajczyk, H. Fuwen, L. Moldovan, A. Bustillo, M. Matuszewski, y K. Nowicki, "Selection of machining parameters with Android application made using MIT App Inventor bookmarks" Procedia Manufacturing, vol. 22, pp. 172–179, 2018 URL: https://www.researchgate.net/publication/324201978_Selection_of_machining_parameters_with_Android_application_made_using_MIT_App_Inventor_bookmarks DOI: https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.027

[10] P. B. Moura Oliveira, "Teaching automation and control with App Inventor applications," en 2015 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Tallin, Estonia, 2015, pp. 879–884. doi: 10.1109/EDUCON.2015.7096077.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Criptografía aplicada a la firma digital y certificados digitales

**Neubirt, Jonathan Damián**
**Neyra Gnzález, Delfina**
**Nobile Echenique, Matías Andrés**
**Noir, Ian Lucca**
**Oddone Dutria, Angelo**
**Orcellet, Máximo**
**Oses, Ignacio Tahiel**
**Paez Treboux, Joaquín Orlando**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay***

**Abstract**

*Este trabajo se realizó debido a la necesidad de comprender y difundir el uso de la firma digital como herramienta segura para la validación de documentos electrónicos, en un contexto donde persiste un alto nivel de desconocimiento social sobre su alcance y validez legal. Se analizan los fundamentos de la criptografía aplicada, diferenciando la firma digital de la firma electrónica y de la firma hológrafa, destacando sus ventajas y limitaciones. La metodología incluyó una revisión conceptual y la aplicación de una encuesta a ciudadanos de la provincia de Entre Ríos para relevar su nivel de conocimiento y disposición hacia esta tecnología. Además, se elaboró una guía práctica con los pasos y requisitos para obtener la firma digital en Argentina. Como principales beneficios, el trabajo aporta a la alfabetización digital, fomenta la confianza en herramientas seguras y promueve la modernización administrativa mediante la reducción del uso de papel.*

**Palabras Clave**

Criptografía; Firma digital; Firma electrónica; Certificados digitales; Seguridad de la información; Encuesta; Argentina.

## Introducción

La criptografía (del griego *kryptós*, "secreto", y *graphé*, "escritura") emplea técnicas de cifrado a los fines de alterar representaciones lingüísticas, haciéndolas inaccesibles a cualquier receptor no deseado. Sus orígenes se remontan a civilizaciones antiguas, donde se enviaban mensajes cifrados de modo que, si el mensajero era interceptado, la información no pudiera ser aprovechada por el enemigo.[1] Con el tiempo, los sistemas y técnicas para cifrar mensajes fueron perfeccionándose y, de la mano con la revolución digital y el fenómeno del internet, se expandieron a otros campos más allá del estratégico y bélico. Estas nuevas necesidades relacionadas con la seguridad de datos en el mundo digital y la introducción de la criptografía de clave pública y el algoritmo RSA, se condensaron en un mejor intercambio de claves y la introducción de la firma digital. [2][3]

Dado que la ciberseguridad es un tema que no suele abordarse de forma clara en la sociedad, el objetivo de este trabajo, previa exposición de conceptos relacionados a la criptografía, es introducir la firma digital, explicando sus diferencias con la firma electrónica y comparar sus ventajas y desventajas con su par hológrafo. Además, tiene como fin evaluar el grado de conocimiento de una muestra de la población de Entre Ríos sobre firma digital y otros conceptos relacionados. Este trabajo constituirá también una guía para que cualquier persona que lo desee, pueda tramitar y conseguir una firma digital asociada a su identidad, para poder firmar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



documentos sin requerimiento de papel y tinta.
El artículo se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se presentan los fundamentos de la criptografía y las tecnologías empleadas en la firma digital. Luego, se desarrolla una comparación entre firma digital, electrónica y hológrafa, abordando aspectos como seguridad, eficiencia y legalidad. En la sección siguiente, se exponen los resultados de un relevamiento realizado en la provincia de Entre Ríos para conocer el nivel de adopción y comprensión de la firma digital. También se ofrece una guía práctica para la obtención y uso de la firma digital. Finalmente, se presentan las conclusiones generales del trabajo y se proponen posibles líneas de trabajo futuras.

## 1. Criptografía

En esta sección se detallan conceptos clave: Clave asimétrica (subsección 1.1), Hash (subsección 1.2), Firma (subsección 1.3), Autenticación (subsección 1.4) y Certificado digital (subsección 1.5) que permiten comprender el funcionamiento de la firma digital.
Estos fundamentos no son un fin en sí mismos, sino la base para entender por qué la firma digital es segura y confiable. En el marco de la problemática planteada, explicarlos resulta esencial para que la población pueda valorar las ventajas de esta tecnología frente a otras formas de firma.

### 1.I. Clave asimétrica

Es un método criptográfico que genera dos claves vinculadas: una privada y una pública. En la firma digital, no se cifra el documento completo, sino solo una porción llamada Hash. [4]

### 1.II. Hash

El hash, también llamado digesto o huella digital, es un resumen que identifica un documento digital. Se obtiene mediante una función hash que genera una cadena hexadecimal de longitud fija. Esta función es unidireccional, por lo que no permite recuperar el documento original, y constante, ya que siempre produce el mismo resultado para un mismo documento. Además, es único, pues documentos diferentes generan hashes distintos, incluso si parecen idénticos. [4]

### 1.III. Firma

Todas las aplicaciones de firma digital emplean el siguiente procedimiento: Al firmar, la aplicación calcula el hash del documento. Luego, utiliza la clave privada para cifrar dicho hash, solicitando al usuario la contraseña que protege su clave privada. Finalmente, el hash cifrado se adjunta al documento junto con información adicional, como la fecha y hora de la firma y los datos del firmante. [4]

### 1.IV. Autenticación

Los destinatarios que posean la clave pública pueden autenticar el documento siguiendo estos pasos: calcular el hash del documento recibido. Descifrar el hash almacenado en la firma digital utilizando la clave pública. Comparar ambos hashes. La coincidencia entre ellos garantiza que el documento no ha sido modificado tras la firma y que la clave privada corresponde a la clave pública utilizada. [4]

### 1.V. Certificado Digital

El certificado digital es un documento firmado digitalmente por una autoridad que certifica que una clave pública pertenece a una persona o entidad específica. Contiene los datos del titular, su clave pública y el nombre de la autoridad emisora, quien valida dicha información.
Esta estructura de firma digital se sustenta en la Infraestructura de Clave Pública (PKI), que establece los procedimientos para la emisión y organización de los certificados. En nuestro país, esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



regulación está vigente bajo la Infraestructura de Firma Digital de la República Argentina (IFDRA). [4]

## 2. Firma Electrónica y Firma Digital

En esta sección, se definen firma electrónica (subsección 2.1) y firma digital (subsección 2.2), así como las similitudes y diferencias entre ellas (subsección 2.3). También cabe destacar los usos e implementación de la firma digital (subsección 2.4).
Si bien ambas figuras poseen reconocimiento legal, la firma digital incorpora un respaldo técnico basado en criptografía, lo que la convierte en una herramienta de mayor seguridad. Sin embargo, la encuesta que se halla en la sección 3, muestra que gran parte de la población desconoce esta distinción, lo cual refuerza la necesidad de incluir esta explicación en el trabajo.

### 2.I. Firma Electrónica

La firma electrónica es un mecanismo legal que busca acreditar la intención del firmante. Se basa en datos electrónicos vinculados de manera lógica a otros datos del mismo tipo, que el firmante emplea para manifestar su aceptación o aprobación sobre un documento digital. [5]

### 2.II. Firma Digital

La firma digital es un conjunto de caracteres que se incorpora al final de un documento con el propósito de asegurar su validez y proteger su integridad. Su funcionamiento se basa en el uso de criptografía asimétrica o de clave pública. [5]

### 2.III. Similitudes y diferencias entre Firma Electrónica y Firma Digital

Tanto la firma electrónica como la firma digital sirven para identificar al firmante y otorgar validez a documentos electrónicos, contando ambas con reconocimiento legal y cumpliendo propiedades como autenticación, integridad y no repudio. Sin embargo, no son equivalentes: toda firma digital es una firma electrónica, pero no todas las firmas electrónicas son digitales. La firma electrónica es, ante todo, un concepto legal, mientras que la firma digital se apoya en criptografía asimétrica para garantizar la seguridad técnica. Además, la firma digital requiere un certificado válido emitido por una autoridad certificante, condición que no siempre se cumple en la firma electrónica. [5]

### 2.IV. Usos e implementación de la Firma Digital

La firma digital se emplea principalmente para la firma de archivos en formato PDF y correos electrónicos, aunque es aplicable a casi cualquier tipo de documento digital. Su adopción permite reducir costos al disminuir el uso de papel, optimizar los tiempos, simplificar los procesos y garantizar la seguridad en el intercambio de información. [5] [6]

### 2.V. Ejemplos cotidianos: Contrastando la Firma Electrónica y la Digital

#### 2.V.I. Electrónica: Firma de un recibo de sueldo en PDF

Un empleado recibe su recibo de sueldo en formato PDF donde, al pie de la página, figura un botón que dice “Firmar y Aceptar”. Al hacer clic, se agrega automáticamente una imagen de su firma manuscrita escaneada o simplemente su nombre escrito en una fuente estilizada.
De esta manera, se manifiesta la voluntad del empleado, el firmante, sin embargo, un tercero podría disputar su autenticidad alegando, por ejemplo, que alguien más tuvo acceso a su correo y firmó el recibo. La seguridad de este tipo de firma se basa en contraseñas y el contexto del proceso, pero carece de verificación criptográfica rigurosa.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**2.V.II. Digital: Realizar un trámite de formulario 08 para la gestión de un automotor a distancia**

Un ciudadano necesita transferir un vehículo. Con la firma digital, el trámite puede hacerse enteramente en línea. El ciudadano descarga el formulario 08 digital, lo llena, y en el paso de firma, selecciona su Certificado Digital (emitido por una Autoridad de la IFDRA). La aplicación de firma calcula el hash del documento (única para el mismo), lo cifra con la clave privada del firmante, protegida con una clave que solo él conoce y lo anexa al documento, junto con el certificado digital del emisor.
Al recibir este documento firmado digitalmente, el organismo puede verificar de forma rápida e inequívoca que (i) el firmante es efectivamente el titular del certificado (Autenticación); (ii) que ningún dato del formulario (como la patente o el precio) fue modificado luego de firmar, ya que cualquier cambio modificaría el hash del documento, fallando en la verificación; y (iii) el no repudio está garantizado, es decir, el firmante no puede negar haber suscrito el documento, ya que esta acción está ligada matemáticamente a su clave privada, la cuál está en su poder. Este proceso no solo elimina la necesidad de trasladarse, imprimir y usar papel, sino que otorga al trámite una seguridad técnica y una validez legal muy superiores a las de una simple firma escaneada, siendo aceptado por el organismo con total plenitud.

**3. Hallazgos de la Encuesta "Firma Digital y Certificados"** [7]

En esta sección se presentan y analizan los datos recopilados a través de una encuesta realizada a ciudadanos de la provincia de Entre Ríos. Dicha encuesta toma una muestra de 97 personas e incluye preguntas de carácter exploratorio, a saberse: Edad, género y nivel de educación (subsección 3.1), Conocimiento previo de firma digital (subsección 3.2) y Marco legal en Argentina (subsección 3.3). También, se consideró pertinente agregar la subsección Introducción a la Guía práctica para la obtención de la firma digital (subsección 3.4), para estimar el nivel de interés de la población en la lectura de una guía práctica para la obtención y aplicación para la firma digital.

**3.I. Edad, género y nivel de educación**

Según la figura 1, el 41,2% de los encuestados tiene entre 20 y 35 años.

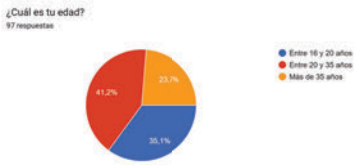



Figura 1 – Edad

El género más representado es el masculino con el 59,8% (figura 2).

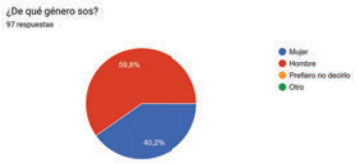



Figura 2 – Género

La mitad de los encuestados tienen un nivel máximo de educación de "universitario incompleto/ cursando actualmente" (figura 3).

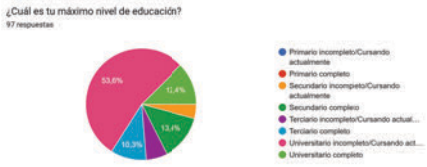



Figura 3 - Nivel de educación

Este perfil demográfico refleja un grupo que debería estar familiarizado con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



herramientas digitales, lo que hace más relevante detectar el nivel de desconocimiento en torno a la firma digital.

### 3.II. Conocimiento previo de firma digital

De acuerdo con los resultados de la encuesta, el 10,3% de los participantes manifestó no saber qué es la firma digital, y si a este grupo se suma el 24,7% que indicó "no saber bien qué es", se obtiene un 35% de desconocimiento total (Figura 4).

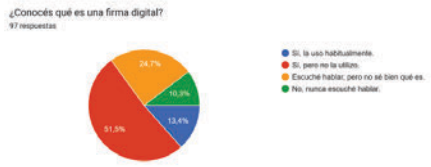



Figura 4 - Conocimiento previo sobre firma digital

Una situación similar, aunque con un nivel aún mayor de desconocimiento, se observa en la pregunta sobre la diferencia entre firma digital y firma electrónica: el 82,5% de los encuestados afirmó no estar seguro o consideró que ambas son lo mismo (Figura 5).




Figura 5 - Diferencia entre firma digital y firma electrónica

En función de estos resultados, se incorporan en este documento, definición, usos e implementación de la firma digital y similitudes y diferencias entre firma electrónica y firma digital.

### 3.III. Marco legal en Argentina

Casi el 30% de los ciudadanos encuestados afirmó no conocer que la firma digital tiene la misma validez legal que una firma escrita en papel (Figura 6). Por este motivo, se incluyó esta subsección en el documento.




Figura 6 - Validez legal

La ley N°25.506 de firma digital crea el marco regulatorio para el funcionamiento de la Infraestructura de Firma Digital de la República Argentina (IFD-RA). Esta red se encarga de emitir certificados digitales y validar firmas de forma segura [8]. Esta ley establece la diferencia entre firma electrónica y digital y expresa que, para todo documento que requiera una firma hológrafa, puede utilizarse su par digital. Además, dispone los lineamientos para la validez de los certificados, las responsabilidades de sus titulares, las atribuciones de los entes licenciantes y los sistemas de auditoría [9].

### 3.IV. Introducción a la Guía práctica para la obtención de la firma digital

Los resultados de la encuesta no solo evidencian un nivel considerable de desconocimiento respecto a la firma digital y sus diferencias con la firma electrónica, sino que también reflejan un creciente interés por parte de la población en comprender su utilidad y acceder a este recurso tecnológico. En particular, las figuras 7 y 8 muestran que una proporción significativa de encuestados manifestó disposición a tramitar y utilizar la firma digital en sus actividades cotidianas, lo que confirma la necesidad de ofrecer herramientas claras y accesibles para acompañar este proceso.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 7 - Interés de uso de firma digital




Figura 8 - Trámite en Argentina

En este contexto, se considera pertinente incluir una guía práctica que explique, paso a paso, cómo obtener la firma digital en la Argentina, cuáles son los organismos habilitados para emitirla, y qué requisitos y procedimientos debe cumplir el ciudadano. Dicha guía, además de orientar a quienes desconocen el trámite, busca fomentar una mayor adopción de esta herramienta, contribuyendo a la modernización administrativa, la reducción del uso de papel y la agilización de los procesos documentales.
De esta manera, la siguiente sección funciona como un enlace entre lo observado en la encuesta y las acciones necesarias, brindando una guía práctica para que cualquier ciudadano pueda obtener su firma digital y aprovechar sus beneficios en la vida cotidiana.

### 3.V. Breve análisis de los resultados

El tamaño de la muestra arroja un margen de error considerable, convirtiendo estos datos en tendencias y no en cifras exactas o proyectables al resto de la población de la provincia de Entre Ríos. Posee más valor cualitativo (evidencia de un problema de desconocimiento) por sobre su valor cuantitativo. En el análisis, se hace énfasis en el grado de conocimiento de las tecnologías trabajadas y el marco legal.

La edad y nivel de educación de la muestra proporciona un posible sesgo hacia el ámbito universitario y poblaciones jóvenes, lo cual, si se tiene en cuenta que este grupo etario se puede considerar como más familiarizado con la tecnología, puede constituir un resultado relevante y alarmante al tener en cuenta el grado de desconocimiento y confusión entre los fundamentos de la firma digital y electrónica, así como de su marco regulatorio en Argentina. En otras palabras, el que la población más preparada (jóvenes de entre 20 y 35 años) desconozca o confunda dichos conceptos, sugiere que el nivel de desconocimiento en la población general (de todas las franjas etarias) podría ser sustancialmente mayor, resaltando la importancia de la alfabetización tecnológica respecto de ciberseguridad y criptografía.

## 4. Guía práctica para la obtención y uso de la firma digital

Se detallan los pasos, organismos habilitados y requisitos para tramitar la firma digital en Argentina.
Esta guía funciona como respuesta directa al interés detectado en la encuesta. Vincula la problemática inicial con una solución práctica, acercando la herramienta a los ciudadanos.

### 4.I. Proceso de obtención de Firma Digital

El proceso general para la obtención de la firma digital remota, consiste en la toma de datos biométricos y autenticación, con el fin de poder asociar los datos de la persona a su certificado digital y validar su identidad. Este proceso es delegado a las Autoridades de registro, habilitadas por la autoridad certificante correspondiente, quien posteriormente emite o deniega el certificado digital al solicitante. [5]

### 4.II. Lugar del trámite

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El trámite puede realizarse en las oficinas de la Autoridad de Registro más cercana, habilitada oficialmente para tal fin.
La toma de datos está a cargo de los Oficiales de Registro, quienes tienen como funciones la aprobación y desaprobación de solicitudes, la revocación de certificados, la generación de usuarios y la carga de datos en la plataforma de la Autoridad Certificante, entre otras. [5]

**4.III. Turnos**

Los requerimientos y procedimiento para tramitar el turno están detallados en la web de argentina.gob.ar. La Firma Digital sin token es exclusiva para personas humanas y solo sirve para firmar documentos en formato PDF a través del Firmador. [5]

**4.IV. Trámite de Firma Digital**

En una primera instancia, el trámite debería hacerse viajando hacia las oficinas de la Autoridad de registro, para iniciar los trámites con un oficial de registro. Cabe resaltar que el proceso no dura más de 30 minutos.
No obstante, teniendo en cuenta la elevada cantidad de empleados administrativos municipales que tramitarían su firma digital, la opción más viable es contactar a la AR para evaluar la posibilidad de envío de uno o más Oficiales de Registro al establecimiento, facilitando y reduciendo tiempos y costos de traslado. [5]

**5. Resultados**

En esta sección se presentan los principales hallazgos obtenidos a partir de la encuesta realizada a ciudadanos de la provincia de Entre Ríos sobre la firma digital. Los resultados reflejan tanto el nivel de conocimiento de la población respecto a esta tecnología, como su disposición para adoptarla en actividades cotidianas.
En primer lugar, los datos muestran que un 35% de los encuestados no posee conocimiento claro acerca de qué es la firma digital, lo que evidencia una brecha significativa en materia de alfabetización digital. Asimismo, más del 80% manifestó no tener certeza respecto a la diferencia entre firma digital y firma electrónica, lo que confirma la necesidad de realizar acciones de divulgación y formación específicas.
En relación al marco legal, casi un 30% de los encuestados desconocía que la firma digital tiene la misma validez que la firma manuscrita, aspecto fundamental para fomentar la confianza y el uso de esta herramienta.
A pesar de este desconocimiento, los gráficos evidencian que una gran mayoría de los participantes estaría dispuesta a tramitar la firma digital, reconociendo las ventajas de seguridad, eficiencia y reducción de costos.
Estos resultados muestran, por un lado, el desconocimiento generalizado en torno a la firma digital, y por otro, una actitud positiva y receptiva frente a su implementación.

**6. Conclusión**

La firma digital se presenta como una herramienta segura y confiable, ya que es única y cuenta con mecanismos criptográficos que garantizan autenticación e integridad de los documentos. Además, resulta práctica y eficiente, puesto que permite firmar documentos digitales sin necesidad de trasladarse a un registro físico, lo que favorece la agilidad administrativa y la reducción del uso de papel.
Por otro lado, los resultados de la encuesta evidencian que la problemática principal es el desconocimiento de la firma digital en la sociedad, mostrando tendencias a ampliar esta brecha digital si se aumenta el tamaño de la muestra. A pesar de que una gran parte de la población reconoce sus ventajas, todavía persiste una falta de información clara sobre sus diferencias con la firma electrónica y sobre su validez legal.
Se concluye que es fundamental fortalecer las campañas de difusión y capacitación, de manera que los ciudadanos puedan conocer

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



los beneficios de esta tecnología y animarse a adoptarla en sus actividades cotidianas.

## 7. Trabajos Futuros

Como líneas de trabajo futuras se propone: realizar nuevas encuestas en los próximos años para comparar la evolución del conocimiento y uso de la firma digital en la sociedad; implementar campañas de difusión y capacitación que reduzcan el desconocimiento detectado; analizar la normativa vigente y su compatibilidad con marcos legales internacionales; evaluar el impacto social y ambiental de la firma digital, especialmente en la reducción del uso de papel.

**Agradecimientos:**

A la cátedra de Sistemas y Procesos de Negocio y, particularmente, a la tutora Luciana Gabriela Valiente, por su tiempo y atención al desarrollo del trabajo.

**Referencias:**

[1] IBM, "¿Qué es la criptografía?" IBM España. Disponible en: https://www.ibm.com/es-es/topics/cryptography [Accedido: 25 de agosto de 2025]
[2] IBM, "Criptografía de clave pública". IBM Integration Bus (versión 10.0.0), Disponible en: https://www.ibm.com/docs/es/integration-bus/10.0.0?topic=overview-public-key-cryptography [Accedido: 25 de agosto de 2025]
[3] K. Yasar and M. Cobb, "What is the RSA algorithm?", TechTarget SearchSecurity, 11 febrero 2025. Disponible en: https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/RSA [Accedido: 25 de agosto de 2025]
[4] Gobierno de la Nación Argentina, "Manual de firma digital (2020)". Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_de_firma_digital_2020.pdf [Accedido: 25 de agosto de 2025]
[5] Orcellet, M, "Firma digital. Bibliografía, Procedimiento y Anotaciones sobre la Composición e Implementación de la Firma Digital Remota", 2023. Disponible en: https://drive.google.com/drive/folders/1zdF53aDZOdirS3LsfHaNgN0hNv5EQM-v
[6] Portal del Consejo de la Magistratura de Buenos Aires, "Despapelización". Disponible en: https://consejo.jusbaires.gob.ar/institucional/organigrama/secretaria-de-innovacion/despapelizacion/ [Accedido: 25 de agosto de 2025]
[7] Alumnos de la Cátedra Sistemas y Procesos de Negocio, UTN-FRCU, "Encuesta: Firma Digital y Certificados", 2025. Realizada con Google Forms [Accedido: 25 de agosto de 2025].
[8] Argentina.gob.ar, "Ente Licenciante – Autoridad Certificante Raíz de la República Argentina", 2024. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/ente-licenciante [Accedido: 25 de agosto de 2025].
[9] Argentina.gob.ar, "Ley N.º 25.506 de Firma Digital – Actualización", 2001. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/70749/actualizacion [Accedido: 25 de agosto de 2025].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# *Uso de la Tecnología en la Infancia*

**Gonnet Natalia, Gonzalez Facundo, Gonzalez Mateo, Guillaume Juan Cruz, Hernandez Bruno, Hernandez Valentina, Hitateguy Oriana, Izaguirre Mirko.**

***Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Concepción del Uruguay***

***Abstract***
*La expansión del acceso a dispositivos digitales desde edades tempranas configura rutinas y prácticas en la infancia Este trabajo examina la relación entre el uso de tecnologías digitales y las rutinas (sueño, alimentación, estudio y juego) en escolares de nivel primario. A partir de una revisión narrativa de guías OMS/AAP e informes recientes —incluidos datos de Argentina— se observa acceso temprano (primer celular ≈ 9,5 años) y predominio de YouTube, WhatsApp y TikTok. Se identifican beneficios (recursos educativos, estimulación, socialización) y riesgos del uso excesivo o no mediado (alteraciones del sueño/atención, sedentarismo, exposición a contenidos). Padres y docentes coinciden en la necesidad de mediación adulta. Las estrategias más efectivas son mediación activa, co-uso, reglas claras y momentos/espacios sin pantallas (Plan Familiar de Medios). Se proponen acciones escuela–familia y mediciones locales de tiempos y calidad de uso.*

***Palabras clave:*** *Tecnología digital; infancia; tiempo de pantalla; mediación parental; bienestar digital; educación primaria.*

## Introducción

La tecnología digital se volvió central desde edades tempranas: el acceso a smartphones, tablets y computadoras se generalizó en hogares y escuelas, moldeando rutinas en primaria **[1,2]**. La mediación pedagógica puede favorecer aprendizaje, comunicación y desarrollo de habilidades; en exceso o sin supervisión se asocia a problemas de atención y sueño, y a exposición a contenidos inadecuados **[1,2]**. Este estudio analiza la relación entre uso digital y rutinas diarias (sueño, alimentación, estudio y juego) en niños de nivel primario. En este contexto, surge la necesidad de analizar cómo se relaciona el uso de tecnologías digitales con las rutinas cotidianas de los niños en edad escolar. La pregunta de investigación que orienta este trabajo es:

**¿Qué dispositivos y aplicaciones usan con mayor frecuencia los niños de nivel primario y cómo se asocia ese uso con sus rutinas diarias (sueño, alimentación, estudio y juego)? Se hipotetiza que un mayor tiempo de pantalla y ciertos tipos de plataformas se relacionan con variaciones en dichas rutinas, moduladas por la mediación adulta.**

La utilidad esperada de este estudio radica en aportar evidencia que permita a padres, docentes y responsables educativos comprender las implicancias del uso digital en la infancia, ofreciendo criterios para promover prácticas más conscientes y saludables. Asimismo, se busca brindar herramientas que puedan aplicarse en contextos escolares y familiares para acompañar un desarrollo integral en la sociedad actual.

Finalmente, este trabajo se organiza de la siguiente manera: en primer lugar, se presentan las principales definiciones y antecedentes. En segundo lugar, se expone el desarrollo con el análisis de los efectos positivos y negativos. Posteriormente se incluyen los resultados de la encuesta y las propuestas para un uso equilibrado de la tecnología. Por último, se presentan las conclusiones generales del estudio.

### 1. ¿Qué se entiende por “tecnología digital” y por qué su presencia en la infancia es relevante en el contexto actual?

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En esta sección se menciona la tecnología digital (sección 1.1) y su presencia en la vida cotidiana de los niños (sección 1.2).

**1.1 La tecnología digital.**
Es un término amplio que abarca todos los dispositivos, sistemas, productos y servicios que utilizan información digitalizada. En su núcleo, se refiere a la conversión de información física o analógica en una forma digital, que se puede procesar, almacenar y transmitir a través de dispositivos electrónicos y redes de comunicación. La misma incluye una variedad de dispositivos y servicios, desde computadoras personales, smartphones y televisores digitales, hasta software, internet y redes sociales, así como también tecnologías emergentes. **[11]**

**1.2 Su uso en la infancia.**
Su uso ha crecido de manera acelerada en los últimos años, volviéndose una parte habitual tanto en el hogar como en el ámbito escolar.
En muchos casos, los adultos recurren a las pantallas ya que estas captan rápidamente la atención de los niños; sin embargo, el uso frecuente de dispositivos digitales puede alterar la forma en que los más pequeños procesan los estímulos, limitando el desarrollo de habilidades fundamentales como la concentración, que requiere tiempo y exploración del entorno físico. Además, el uso excesivo en edades tempranas puede reducir las oportunidades de aprender a reconocer emociones y regular la frustración, dificultando el desarrollo de habilidades sociales esenciales como la empatía, ya que las interacciones cara a cara, insustituibles para comprender señales no verbales y fortalecer vínculos afectivos, se ven disminuidas. **[1, 6, 7]**

**2. Consecuencias del uso excesivo de tecnología en la primera infancia**.
En esta sección se describen las consecuencias del uso tecnológico en distintas áreas de la infancia.

El aumento en la exposición temprana a dispositivos digitales ha generado un creciente interés en la investigación sobre sus efectos en el desarrollo infantil. Si bien la tecnología ofrece recursos valiosos para el aprendizaje y la estimulación, su uso excesivo durante la primera infancia plantea interrogantes sobre las posibles consecuencias cognitivas, lingüísticas y socioemocionales en esta etapa crítica del crecimiento.
El uso excesivo de la tecnología durante la primera infancia (0 a 6 años) puede tener consecuencias negativas en distintas áreas del desarrollo infantil. Diversos estudios advierten que la sobreexposición a pantallas afecta la capacidad de concentración y puede contribuir a la aparición de problemas de atención, dado que los estímulos digitales continuos dificultan el entrenamiento de la atención sostenida. Asimismo, cuando el tiempo frente a dispositivos sustituye la comunicación verbal con padres, tutores u otros adultos significativos, se limita el proceso de adquisición de vocabulario y de habilidades comunicativas, lo que impacta directamente en el desarrollo del lenguaje. Finalmente, en el plano social, los niños que dedican un tiempo excesivo al uso de tecnologías tienden a mostrar mayores dificultades para relacionarse con sus pares, ya que se ven reducidas sus oportunidades de interacción cara a cara y de práctica de habilidades socioemocionales esenciales en esta etapa del crecimiento. **[2, 5]**

Hasta aquí, se puede apreciar que la tecnología digital en la infancia constituye un fenómeno creciente, ofreciendo oportunidades de aprendizaje y entretenimiento, pero también planteando riesgos cuando su uso no está mediado por adultos.

**3. Tendencias actuales del uso digital en niños y adolescentes en Argentina.**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En esta sección se muestran mediante estadísticas, los comportamientos de los niños y adolescentes tras la exposición a la tecnología y sus consecuencias.

Según los datos oficiales del informe *Kids Online Argentina 2025* realizado por UNICEF y Unesco entre octubre y diciembre del 2024, se encuestaron 5910 adolescentes de 17 años en escuelas de gestión estatal y privada de localidades urbanas de más de 50.000 habitantes **[8]**. Uno de los hallazgos más relevantes es que la edad promedio de acceso al primer teléfono celular se sitúa en los 9 años y medio, lo que refleja un ingreso cada vez más temprano a la vida digital.
La exposición temprana (0–6 años) a pantallas se asocia con dificultades de atención, al interferir con la capacidad de sostener la concentración; con menor estimulación del lenguaje, cuando la comunicación con adultos es reemplazada por interacciones digitales; y con peores interacciones sociales con pares cuando el tiempo frente a dispositivos despliega el juego compartido **[2]**. Reconocer esta doble cara —oportunidades y riesgos— es clave para analizar el impacto en el desarrollo integral.
En cuanto a las plataformas más usadas, se observa un claro predominio de YouTube (91%), WhatsApp (88%), Tik Tok (75%) e Instagram (66%). En contraste, redes como Facebook y X (ex-Twitter) registran un uso mucho menor en esta franja etaria, lo que evidencia un recambio generacional en las preferencias digitales.
El informe también destaca la expansión de tecnologías emergentes: el 76% de los encuestados manifestó conocer Chat GPT, y el 58% lo utilizó al menos una vez con fines educativos. Este uso es más frecuente en adolescentes de niveles socioeconómicos medios y altos.
En relación con los fines del acceso a internet, el 61% de los adolescentes navega en internet todos o casi todos los días por motivos escolares, mientras que un 50% lo hace para aprender fuera de la escuela. Sin embargo, el uso recreativo también es central: un 74% mira videos, un 69% juega online y un 62% chatea a diario.
Estos datos muestran como el acceso a dispositivos y plataformas ocurre de manera temprana y generalizada, marcando rutinas de estudio, ocio y socialización. Si bien internet abre oportunidades educativas, la exposición a riesgos como el ciberacoso o los contenidos inadecuados plantea la necesidad de reforzar estrategias de mediación y acompañamiento adulto para un uso más saludable. **[3]**

## 4. El impacto de las tecnologías en las rutinas diarias de los niños y adolescentes.

La era digital ha transformado profundamente la forma en que los niños y adolescentes interactúan con las tecnologías, generando un impacto significativo en su desarrollo físico, emocional y social. En esta sección se mencionan los efectos positivos (subsección 4.1) y a su vez los efectos negativos (subsección 4.2)
Además, con el objetivo de sintetizar los principales ámbitos de la vida cotidiana afectados por las tecnologías, se presenta la **Tabla 1**, que muestra tanto las oportunidades como los riesgos que estas presentan en aspectos clave como el sueño, la alimentación, el estudio, el juego, el lenguaje, la creatividad y la seguridad en línea **[5].**

### 4.1. Efectos positivos.

Entre los efectos positivos del uso de tecnologías se encuentran los siguientes: en primer lugar, la **estimulación cognitiva,** la cual se desarrolla a través de accesos a contenidos educativos y recursos interactivos fomentando el aprendizaje. Como se puede ver en la **Tabla 1**, el uso responsable de herramientas digitales puede mejorar el **estudio**, el **lenguaje** y la **creatividad**, ofreciendo múltiples formas de aprendizaje y expresión. Además,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



internet ofrece una amplia variedad de recursos educativos que ayudan en el rendimiento académico y la comprensión de diferentes temas. También, las redes facilitan la **comunicación y socialización**, permitiendo a las personas conectarse con otras en cualquier momento y lugar. Por último, se destaca el hecho de que las tecnologías dan lugar a múltiples opciones de **ocio y entretenimiento** como juegos, películas y música, contribuyendo al bienestar y a la recreación.

**Tabla 1. Impacto de las tecnologías en las rutinas diarias de niños y adolescentes.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **1** | **SUEÑO** | | Problemas de sueño por la exposición a la luz azul. |
| **2** | **ALIMENTACIÓN** | Acceso a información sobre nutrición y recetas saludables. | Sedentarismo que puede llevar a malos hábitos alimenticios. También generar obsesión o desconfianza con la imagen corporal. |
| **3** | **ESTUDIO** | Acceso a contenidos educativos y recursos interactivos. | Distracción y disminución del rendimiento académico. |
| **4** | **JUEGO** | Ocio y entretenimiento a través de juegos interactivos. | Adicción a los juegos y sedentarismo. |
| **5** | **LENGUAJE** | Acceso a recursos para mejorar la comunicación y el lenguaje. | El uso excesivo de abreviaturas y jerga en línea puede afectar la comunicación efectiva y la capacidad de expresarse de manera clara y coherente |
| **6** | **CREATIVIDAD** | Acceso a recursos y herramientas de creación que permiten expresar su creatividad de manera innovadora, como software de diseño gráfico o música, etcétera. | Limitación de la creatividad y el juego imaginativo debido al uso excesivo de tecnología, lo que puede llevar a una dependencia excesiva de las herramientas digitales y una falta de desarrollo de habilidades creativas más tradicionales**.** |
| **7** | **SEGURIDAD EN LÍNEA** | Educación sobre cómo navegar en Internet de manera segura y la protección de sus cuentas | Exposición a contenido inapropiado y ciberbullying, que puede tener un impacto negativo en la salud mental y emocional de los niños y adolescentes. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | |
|---|---|---|---|
| | | perso nales. | |

**4.2. Efectos Negativos.**
Por un lado, el uso excesivo de tecnologías antes de dormir puede generar **problemas de sueño** debido a la exposición a la luz azul de las pantallas **[5]**. Asimismo, el uso prolongado de dispositivos puede fomentar un **estilo de vida sedentario**, contribuyendo a diversos problemas de salud. De acuerdo con la **Tabla 1**, el impacto negativo también se observa en la distracción durante el **estudio**, la adicción a los **videojuegos** y la pérdida de **habilidades sociales** o creativas tradicionales. Finalmente, dicho uso puede dar lugar a aislamiento social y a reducir las interacciones cara a cara. **[3]**

**5. Estrategias y propuestas para un uso equilibrado de la tecnología digital en la infancia.**
En esta sección se presentan distintas líneas de acción orientadas a promover un uso responsable y saludable de la tecnología digital durante la niñez, considerando tanto el ámbito escolar como el familiar.

A partir de la evidencia revisada, se proponen líneas de acción para un uso saludable **[7]**. En el ámbito escolar, incorporar desde los primeros años contenidos de educación digital (seguridad en línea, uso responsable y lectura crítica de medios). En el ámbito familiar, acordar rutinas con momentos libres de pantallas (comidas, previo al sueño) y evitar su uso al menos una hora antes de dormir, fomentando rutinas de sueño y actividad física adecuadas según la edad **[4]**. Los controles parentales deben entenderse como apoyo y ocasión de diálogo sobre hábitos y contenidos. La mediación activa (hablar sobre lo que se mira/juega), el co-uso y reglas claras y consistentes se asocian a menor tiempo total de pantalla y menos uso problemático **[9,10]**.
En el marco de la promoción de un uso saludable y provechoso de la tecnología digital durante la niñez, se han identificado diversas líneas de acción que resultan relevantes. En primer lugar, es fundamental fomentar una educación digital temprana mediante la inclusión de contenidos sobre seguridad en línea y uso responsable de dispositivos dentro del diseño curricular escolar desde los primeros años. Asimismo, se destaca la importancia de que las familias establezcan rutinas que contemplen momentos libres de pantallas, lo cual favorece el equilibrio entre el tiempo de conexión y las interacciones presenciales. A partir de los 5 años, la Academia Americana de Pediatría (AAP) recomienda la implementación de un Plan Familiar de Medios que, en lugar de imponer un límite rígido de horas frente a la pantalla, proponga la co-definición de horarios y espacios sin dispositivos, priorice el acceso a contenidos de calidad, fomente la co-visión y el diálogo con adultos, y evite el uso de pantallas al menos una hora antes de dormir**[9]**. En este aspecto, la evidencia reciente muestra que las estrategias de mediación activa (hablar sobre el contenido y sus valores), el co-uso (mirar/jugar juntos) y reglas claras y consistentes (restricción razonable) se asocian con menos tiempo total de pantalla y menos uso problemático.**[10]**

**6. Encuesta a jóvenes y adultos sobre rutinas digitales de niños en el hogar: diseño y resultados (a 54 personas con edades entre 15 y 25 años).**
En esta sección, en primer lugar, se describe la metodología utilizada para realizar la encuesta (subsección 6.1) y, posteriormente, se exponen los resultados de la encuesta dirigida a jóvenes y adultos, cuyo propósito fue indagar sobre las rutinas digitales de niños en el hogar. El cuestionario buscó relevar aspectos como el acceso a dispositivos, los tiempos de uso, las actividades más frecuentes y la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



forma en que los adultos median estas prácticas (ver Anexo A).

**6.1 Descripción de la encuesta.**

Para complementar el análisis teórico sobre el impacto del uso de tecnologías en la infancia, se diseñó y aplicó una encuesta exploratoria a jóvenes y adultos, con el objetivo de conocer sus percepciones acerca de las rutinas digitales y el uso de pantallas por parte de niños en el hogar.

El rango de edad estipulado estuvo compuesto por 15 a 25 años, y el motivo se ve reflejado por el mayor índice de comportamientos virtuales y digitales en ésta generación, tomando en cuenta que entran dentro de lo que es el siglo XXI.

Se descartó la idea de incluir a edades mayores por el creciente aumento de la seguridad en línea y por las diferentes perspectivas, siendo prioridad el análisis juvenil.

El instrumento fue elaborado mediante Google Forms (ver anexo A). La encuesta se difundió de manera virtual, a través de redes sociales y grupos de mensajería, durante el mes de septiembre de 2025. La participación fue anónima y voluntaria, garantizando la confidencialidad de las respuestas.

El cuestionario estuvo compuesto por diez preguntas cerradas y dos abiertas, orientadas a obtener información sobre: la cantidad de horas diarias que los niños pasan frente a pantallas, las actividades digitales más frecuentes, la presencia o ausencia de mediación adulta, y los posibles efectos observados en el comportamiento y la atención.

En total, se obtuvieron 54 respuestas válidas, que fueron procesadas de forma descriptiva para identificar tendencias generales en las prácticas y percepciones de los encuestados. Los resultados se presentan y analizan en la sección siguiente.

**6.2 Resultados obtenidos de la encuesta realizada.**

Se realizó un estudio descriptivo transversal mediante un cuestionario online autoaplicado y anónimo a 54 participantes de 15 a 25 años, rango seleccionado de edad porque incluye personas que conviven o participan en el cuidado de los niños, además de contar con alto conocimiento digital para poder identificar plataformas y/o dispositivos. Se indagó sobre niños del hogar o cercanos (edad, acceso a dispositivos y plataformas, tiempos de pantalla, rutinas y percepciones de efectos). Los datos se analizaron de manera descriptiva (porcentajes) para caracterizar hábitos y mediación adulta. Los resultados mostraron que la mayoría de los niños mencionados tienen entre 6 y 8 años, y aunque gran parte comparte dispositivos con adultos, un número significativo ya posee uno propio. En cuanto al uso, más del 70% pasa entre 3 y más de 5 horas diarias frente a pantallas, y el 82,4% de los encuestados percibe que este tiempo es excesivo. Las actividades principales son jugar (78,4%) y mirar videos (74,5%), mientras que las tareas escolares representan apenas un 19,6%. Las plataformas más utilizadas son YouTube (76,5%) y TikTok (49%), lo que confirma que el uso recreativo predomina por sobre el educativo.

Los efectos negativos más destacados son la falta de creatividad (60%), la irritabilidad (53,3%) y los problemas de concentración (86,1%), junto con la percepción de que el rendimiento escolar se ve afectado (74,5%). A esto se suma que casi el 80% de los responsables no establece horarios definidos de uso, lo que refleja una escasa mediación adulta.

**7. Conclusión:**

A lo largo de este trabajo se analizaron diferentes aspectos de cómo el uso de la tecnología en la infancia se ha vuelto parte de la vida cotidiana y cómo influye en diferentes facetas de las rutinas de los niños, como el sueño, la alimentación, el estudio y el juego. Es posible observar que la tecnología trae consigo múltiples

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



beneficios, como el acceso a recursos educativos y la posibilidad de socializar, pero también riesgos importantes cuando su uso no es mediado por adultos, como el sedentarismo, la distracción o la exposición a contenidos inadecuados.

Un punto clave que se repite en todo el análisis es la necesidad de acompañamiento y mediación tanto desde la familia como desde la escuela, para que los niños puedan aprovechar las oportunidades que ofrecen las herramientas digitales sin descuidar su desarrollo. No se trata de prohibir la tecnología, sino de promover un uso equilibrado, con límites claros y espacios libres de pantallas en momentos importantes. En síntesis, el trabajo permitió reflexionar sobre la responsabilidad compartida que tienen los adultos frente al bienestar digital de los niños, y la importancia de generar hábitos conscientes que favorezcan su crecimiento saludable en una sociedad cada vez más digitalizada.

Las fuentes utilizadas aportan el marco conceptual y la evidencia general: ofrecen definiciones, describen riesgos y beneficios e indican recomendaciones de mediación. Sobre esta base, el trabajo recopila datos, a partir de ello, prioriza necesidades y propone acciones concretas y aplicables al ámbito analizado. En síntesis, las fuentes establecen qué se sabe; el trabajo demuestra qué ocurre aquí y qué corresponde hacer.

**Agradecimientos**

Agradecemos a los docentes de la cátedra: Lic. Alberto M. Nigro, Ing. Patricia R, Cristaldo, y a nuestra tutora docente a cargo, Luciana Valiente; por su apoyo, orientación y dedicación en cada etapa del proceso de elaboración de este trabajo de investigación.

**Referencias Bibliográficas.**

**[1] UNICEF. Uso de la tecnología en la primera infancia: qué saber (sitio informativo: https://www.unicef.org/uruguay/crianza/digital/uso-de-la-tecnologia-en-la-primera-infancia-que-saber)**

**[2] educ.ar. Cerebro y estímulos digitales en la infancia y la adolescencia (recurso divulgativo). https://www.educ.ar/recursos/159110/cerebro-y-estimulos-digitales-en-la-infancia-y-la-adolescenc**

**[3] ¿Cómo influyen las nuevas tecnologías en los adolescentes? por Aesthesis Psicologos Madrid | 14 Abr 2020 | Psicología de la Salud** https://www.psicologosmadridcapital.com/blog/como-influyen-nuevas-tecnologias-adolescencia/

**[4] World Health Organization. Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age, 2019. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/bfce7d1e-43d8-4e28-ba1b-8f6cf9da2661/content**

**[5] Clínica Internacional: Impacto de la tecnología en el desarrollo infantil. 01/2024. Disponible en: https://blog.clinicainternacional.com.pe/impacto-tecnologia-desarrollo-infantil/.**

**[6] Inter-American-Dialogue: Intervenciones tecnológicas en la primera infancia. 03/2024. Disponible en: https://thedialogue.org/wp-content/uploads/2024/12/UCC-Intervenciones-tecnologicas-3.pdf.**

**[7] Profuturo.education: Tecnología en la infancia: los expertos opinan. 01/2025. Disponible en: https://profuturo.education/observatorio/tendencias/tecnologia-en-la-infancia-los-expertos-opinan/.**

**[8] Horvat, A. (2025, 6 de mayo). Radiografía y alerta: una encuesta revela la temprana edad a la que los chicos argentinos reciben su primer celular. La Nación. https://www.lanacion.com.ar/sociedad/radiografia-y-alerta-una-encuesta-revela-la-temprana-edad-a-la-que-los-chicos-argentinos-reciben-su-nid06052025/**

**[9] Children's Primary Care Medical Group. (2025, 25 de marzo). Más allá del tiempo frente a la pantalla: Guía para padres sobre el uso de medios. HealthHub CPCMG. Disponible en: https://healthhub.cpcmg.net/docs/es/beyond-screen-time**

**[10] Beyens, I., Keijsers, L., & Coyne, S. M. (2022). Social media, parenting, and well-being. *Current Opinion in Psychology, 47*, 101350. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352250X22000690**

**[11] Tecnología digital** https://utildigital.com/tecnologia-digital/

**Anexo.**

**A- Enlace URL a la encuesta realizada.**

**https://forms.gle/u515YESKxGEPWLZr5**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Tus malos requisitos están matando al software: Un análisis sobre la importancia de la ingeniería de requisitos

**Cardetti, Joaquín; Caparroz, Sebastian; Beas, Valentina**
***Universidad de la Defensa Nacional, Instituto Universitario Aeronáutico, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*En el contexto actual del desarrollo de software, donde los plazos son cada vez más ajustados y los equipos suelen ser multidisciplinarios, la correcta redacción de requisitos se ha vuelto un factor decisivo para el éxito de un proyecto. Sin embargo, es común que esta etapa se subestime o se aborde de manera informal, lo que da lugar a ambigüedades, malentendidos y, en última instancia, productos que no cumplen con las expectativas del cliente.*
*Este trabajo es realizado en el marco de la materia Procesos de Desarrollo de Software I. Surge de la necesidad de analizar en profundidad qué hace que un requisitos esté bien escrito, y cómo su calidad impacta directamente en todo el ciclo de vida del software. El objetivo es ofrecer una guía clara y estructurada sobre las buenas prácticas en la redacción de requisitos, abordando tanto los aspectos conceptuales como las técnicas concretas.*

**Palabras Clave:** requisitos, software, errores y desarrollo

## Introducción

El desarrollo de software es un proceso complejo que exige una planificación detallada y un enfoque meticuloso en cada fase. En este contexto, los requisitos desempeñan un papel crucial, ya que definen de manera precisa lo que el sistema debe hacer y las condiciones bajo las cuales debe operar para cumplir con las expectativas de los usuarios y las partes interesadas.

Los requisitos se dividen en dos grandes categorías: funcionales y no funcionales. Los primeros describen las funcionalidades específicas que el sistema debe ofrecer, mientras que los segundos abordan aspectos como el rendimiento, la seguridad y la usabilidad.

El impacto de una correcta especificación de los requisitos en el éxito de un proyecto es innegable. La falta de claridad, precisión y consistencia puede llevar a malentendidos, retrasos y, en última instancia, al fracaso del proyecto. De hecho, el informe "*Chaos Report"* del *Standish Group* de 1995 [6] señala que una de las principales causas de fracaso en los proyectos de software es precisamente una gestión deficiente de los requisitos. Este informe revela que alrededor del 50% de los proyectos no cumplen con los plazos, el presupuesto o los objetivos inicialmente establecidos. Esto es debido en gran parte a problemas relacionados con la especificación y el alcance de los requisitos. Sus hallazgos siguen siendo relevantes para comprender los desafíos persistentes en la gestión de estos aspectos en proyectos de software. Más recientemente, un estudio realizado por *EngPrax* en 2023 [7] reveló que el 65% de los proyectos que adoptan prácticas ágiles no logran cumplir con los plazos, presupuestos ni con estándares de calidad adecuados. Este trabajo tiene como objetivo abordar un problema persistente en la industria del software: la dificultad de redactar especificaciones que sean claras, completas, verificables y útiles para todos los actores involucrados en el proceso de desarrollo. A través de un análisis crítico, se busca exponer las mejores prácticas actuales y las herramientas disponibles. Así permitiendo mejorar la calidad de los requisitos, teniendo en cuenta desde su definición inicial hasta su validación y gestión de cambios.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Este trabajo se organiza en cinco secciones principales. En primer lugar, se abordan los fundamentos de un buen requisitos, incluyendo sus características esenciales y el uso de un lenguaje preciso. Luego, se exploran las técnicas de redacción de los requisitos. También, se tendrá en cuentas las técnicas de elicitación que permiten capturar y documentar lo que realmente necesitan los usuarios. A continuación, se analizan errores comunes en la redacción de requisitos y cómo evitarlos. Finalmente, se presentan herramientas que ayudan a sistematizar y modelar estos aspectos.

## 1. Fundamentos de un Requisito Adecuado

Un requisito útil no se define sólo por lo que dice, sino por cómo lo dice. Para que cumpla su propósito dentro del proceso de desarrollo, debe reunir ciertas características esenciales que aseguren su claridad, consistencia y viabilidad. A continuación, se describen los principales fundamentos que debe cumplir[1].

Un requisito debe aportar valor real al sistema. Si su ausencia no produce un impacto significativo en el funcionamiento o la experiencia del usuario, probablemente no sea necesario. Este criterio ayuda a filtrar exigencias superfluas que solo introducen complejidad sin beneficios concretos.

Así mismo, un requisito debe incluir toda la información necesaria para su comprensión e implementación, sin depender de suposiciones ni requerir consultas externas. La omisión de detalles puede derivar en interpretaciones erróneas o decisiones de diseño improvisadas.

Además, un requisito debe ser coherente, no debe contradecir a otros dentro del mismo sistema. La coherencia es fundamental para evitar conflictos lógicos y asegurar que todas las partes del producto funcionen en conjunto sin interferencias.

Toda especificación debe describir una necesidad concreta, validada con las partes interesadas, y expresarse de forma clara y concisa. Las ambigüedades o formulaciones vagas, como “el sistema debe ser rápido”, deben evitarse o acompañarse de criterios medibles.

Un requisito debe tener una viabilidad técnica, es decir que debe ser realizable dentro de los límites tecnológicos, presupuestarios y temporales del proyecto. Cuando hay dudas sobre su factibilidad, puede ser necesario elaborar un prototipo o consultar al equipo técnico antes de confirmarlo.

También debe permitir cierta flexibilidad para ajustes futuros sin perder su sentido ni generar efectos secundarios en otros requisitos relacionados.

No todos los requisitos tienen el mismo peso. Establecer una jerarquía según su criticidad ayuda a organizar mejor la planificación, definir alcances mínimos viables y distribuir los recursos de forma eficiente.

Finalmente, todo requisito debe ser verificable. Esto significa que debe poder evaluarse mediante pruebas, inspecciones o análisis objetivos. Si no puede comprobarse, tampoco puede garantizarse su cumplimiento.

## 2. Propuesta de Técnicas para la redacción de Requisitos

La elaboración de requisitos de software es un proceso que va más allá de la simple escritura en lenguaje natural. Implica la representación del conocimiento de los requisitos de manera efectiva. Para ello, se deben utilizar métodos de comunicación que aseguren un acuerdo claro y compartido entre los interesados y el equipo de desarrollo.

Independientemente del estilo o la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



convención utilizada, se pueden ver dos objetivos primordiales que guían la redacción de requisitos:

- **Univocidad:** Todo lector debe llegar a la misma interpretación del requisito..
- **Fidelidad a la Intención:** La interpretación del lector debe coincidir con lo que el autor pretende comunicar.

Los requisitos funcionales pueden redactarse desde la perspectiva del sistema o del usuario. La elección de la perspectiva debe basarse en la claridad y la facilidad de comprensión:

- **Perspectiva del Sistema:** Se utiliza la estructura "[precondición opcional] [evento desencadenante opcional] el sistema deberá [respuesta esperada del sistema]".
- **Perspectiva del Usuario:** Se emplea la estructura "El [clase de usuario o actor] deberá ser capaz de [hacer una acción] [hacia algún objeto] [condiciones calificativas, tiempo de respuesta, calidad]"

Los requisitos deben redactarse en oraciones completas, con gramática, ortografía y puntuación correctas. Las oraciones y los párrafos deben ser cortos y directos, utilizando un lenguaje sencillo y apropiado para el dominio del problema. Se debe evitar la jerga y definir los términos especializados en un glosario. Se recomienda eliminar las frases innecesarias y centrarse en la información esencial para el lector. Se debe evitar el uso de lenguaje creativo, la alternancia innecesaria entre voz pasiva y activa, y el uso de sinónimos que puedan generar confusión. La claridad y la concisión son primordiales. Se sugiere utilizar un término consistente (como "debe") para indicar las obligaciones del sistema, evitando el uso de diferentes términos para implicar sutilezas de prioridad.

Cada requisito debe ser una unidad independiente, evitando la inclusión de múltiples requisitos en un único párrafo narrativo. El uso de conjunciones como "y", "o", "además" o "también" puede indicar la presencia de múltiples requisitos combinados.

## 3. Propuestas de técnicas para la elicitación de requisitos

La elicitación de requisitos implica utilizar diversos métodos para obtener información precisa sobre las necesidades del cliente y, por ende, del usuario. Entre estos métodos, se encuentran las entrevistas, las cuales pueden ser estructuradas, no estructuradas o semiestructuradas. Asimismo, se pueden utilizar cuestionarios y encuestas. Las cuales permiten conocer las necesidades de un gran número de personas a través de respuestas libres o preguntas con opciones definidas.

Los casos de uso son otra herramienta valiosa, ya que describen la interacción entre un actor y el sistema, ayudando a entender cómo los usuarios utilizan el sistema. Las historias de usuario también son eficientes, ya que son descripciones concisas de una funcionalidad desde la perspectiva del usuario. Por ejemplo, "Como gerente, quiero comparar el desempeño de mis empleados para poder asignar un empleado del mes"

Finalmente, la observación permite obtener información valiosa al analizar a los usuarios en su entorno de trabajo. Comprendiendo sus procesos y necesidades reales, e incluso identificando aspectos que los usuarios no mencionaron directamente.

## 4. Errores comunes al escribir requisitos y cómo evitarlos

La elicitación y gestión de requisitos son procesos susceptibles a diversos errores que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



pueden comprometer el éxito de un proyecto de software. A continuación, se describen algunos de los más frecuentes [4] y se proponen estrategias para mitigarlos:

Un error común es la falta de comprensión del dominio del problema. Ocurre por analistas sin conocimiento profundo del problema, llevando a malinterpretar necesidades.
Para poder solucionarlo, se debe investigar el dominio, colaborar con expertos y *stakeholders*. La herramienta Miro (pizarra interactiva), nos permite bosquejar prototipos y validarlos con expertos.

Por otro lado, los cambios constantes en los requisitos pueden generar retrasos y sobrecostos, un fenómeno conocido como "efecto puerta giratoria". Para minimizar este impacto, se recomienda establecer un proceso formal para la evaluación y aprobación de cambios. Para evitarlo es recomendable utilizar JIRA (gestor de tareas) + Confluence (espacio de trabajo para crear, organizar y compartir documentación) para que se soliciten los cambios y registre las decisiones.

La exclusión de usuarios/clientes en el proceso de elicitación puede resultar en soluciones que no cubren sus necesidades. Una propuesta de solución es realizar reuniones regulares para recoger *feedback* y ajustar requisitos. Se pueden realizar talleres colaborativos (*design thinking*) donde se puede entender las necesidades de los *stakeholders* mediante un enfoque centrado en el humano.

Al utilizar una documentación demasiado extensa y compleja, se puede volver difícil comprender. Algunas formas de abordarlo es utilizar herramientas de gestión, mantener documentos claros y apoyarse en prototipos visuales

Los requisitos no validados ni verificados pueden ser incorrectos, incompletos o inviables. Para abordar este problema, es necesario implementar revisiones formales y pruebas de aceptación que involucren a los *stakeholders*.

Los requisitos complejos aumentan los costos sin aumentar valores. Es posible priorizar la simplicidad y eliminar redundancias. Una técnica muy conocida es *KISS Principle y MVP Validation*. Sus principios se combinan para proporcionar simplicidad con validación temprana garantizando que los requisitos sean justo lo necesario, sin añadir complejidad innecesaria.

La falta de seguimiento de cambios ocurre por la pérdida de contexto por falta de registro de modificaciones. Se propone usar herramientas para gestionar y trazar los cambios. El proceso de control de versiones para requisitos permite gestionar sistemáticamente los cambios en los requisitos y garantiza que cada modificación esté documentada, sea rastreable y accesible.

La definición de requisitos que no son realistas debido a restricciones técnicas puede generar frustración y retrasos. Para prevenir este problema es crucial la colaboración con el equipo de desarrollo para alinear las expectativas. Utilizar herramientas como Jira es útil para documentar restricciones técnicas. También se puede recurrir a Swagger, la cual nos permite documentar APIs y sus limitaciones.

La ausencia de un orden de prioridad entre los requisitos puede llevar a que se dedique tiempo y esfuerzo a aspectos menos críticos. Para evitar esto, se pueden utilizar técnicas de priorización, como el método MoSCoW (*Must have, Should have, Could have, Won't have*).

Finalmente, no considerar la escalabilidad puede ocasionar problemas futuros si el sistema no escala con la demanda. Para que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



esto no suceda se debe diseñar requisitos anticipando el crecimiento.

## 5. Herramientas para modelar requisitos

La documentación de requisitos se beneficia del uso de diversas herramientas [3] que facilitan la comunicación, el análisis y la gestión de la información.

El mapeo de historias de usuarios es una técnica para capturar las funcionalidades desde la perspectiva del usuario final. Ayuda a entender el flujo de interacción del usuario con el sistema y permite priorizar características según su impacto en la experiencia de usuario.

Otra herramienta que permite modelar es el diagrama de casos de uso, que representa las interacciones entre usuarios y el sistema. Clarifica las funcionalidades clave desde el punto de vista del usuario y facilita la identificación de requisitos funcionales.

También el diagramas de secuencia permite ver el orden de las interacciones entre componentes del sistema para cumplir un caso de uso. Ayuda a entender el comportamiento dinámico del sistema y es útil para detectar posibles cuellos de botella en procesos complejos.

Además existe el Wireframes, un boceto simple que representa la estructura y navegación de una interfaz. Y paralelamente están las maquetas (*Mockups*) que es una versión más detallada y visual, que incluye colores, tipografías y estilos. Ambos permiten validar el diseño previo al desarrollo y reducen errores de usabilidad en etapas tempranas.

Para poder representar gráficamente los pasos de un proceso proponemos utilizar los mapas de procesos y diagramas de flujo, que también ayudan a simplificar la comprensión de flujos complejos a la vez que identifican redundancias o pasos innecesarios.

Por otro lado, los mapas mentales organizan ideas durante sesiones de *brainstorming* para requisitos. Fomentan la creatividad y estructura las ideas y son útiles para categorizar y priorizar requisitos.

Cuando necesitamos recopilar requisitos de software es fundamental emplear diagramas de contexto, técnicas de recopilación de requisitos de software que se propone utilizar al principio del proceso. Estos ofrecen una visión de alto nivel del sistema en su entorno y de cómo interactúa con entidades externas como los usuarios, otros sistemas, entre otros.

No menos importante, un diagrama de descomposición funcional es práctico para descomponer un sistema en partes más pequeñas y sencillas. Permitiendo ver más de cerca el funcionamiento del sistema, de esta manera, se podrá comprender fácilmente los requisitos de las necesidades.

## 6. Trabajos relacionados

Uno de los trabajos más citados es el informe *"CHAOS Report"*, específicamente el de 2015 [8]. Muy conocido por sus hallazgos impactantes sobre gestión de requisitos y fracasos en proyectos de software. Da a conocer que el 39% de los fracasos en proyectos se deben a una mala gestión de requisitos. Además, proporciona datos estadísticos valiosos, pero no profundiza en soluciones específicas.

Un caso es el de el programa *care.data*. Un programa del Reino Unido que buscaba compartir datos de pacientes para fin de investigación y planificación de servicios de salud. Lamentablemente el programa fue abandonado en Julio de 2016 por problemas de confidencialidad y falta de confianza del público. Los requisitos sobre privacidad, consentimiento y comunicación eran vagos, lo cual llevó a su fracaso. Esto muestra que los requisitos no deben tomarse a la ligera, hay que especificarlos con el detalle

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



necesario para evitar malentendidos. Y los requisitos no sólo son sobre las áreas técnicas, ya que los aspectos éticos, legales y de confianza del usuario son fundamentales.

Para terminar, un ejemplo más simple podría ser respecto a un sistema de notas de una universidad. Un requisito mal escrito podría ser "El sistema debe permitir que los estudiantes cambien sus notas cuando encuentren errores". Este podría ser un ejemplo de un error de comprensión del dominio, especialmente un malentendido de la necesidad que se busca. El requisito correcto es "El sistema debe permitir a los alumnos solicitar una revisión de la nota subida, la cual será procesada y, si corresponde, modificada por el docente responsable o el área académica". De esta forma el requisito permite el cambios en las notas, pero el alumno no debería tener la capacidad de realizar el cambio directo.

## Conclusión

Escribir requisitos de manera correcta no es una tarea sencilla. Tampoco es una actividad que pueda pasarse por alto sin consecuencias. La calidad de los requisitos influye de forma directa en el éxito o el fracaso de un proyecto. Un requisito mal definido abre la puerta a confusiones, retrasos y sobrecostos. En cambio, un requisito claro aporta dirección y confianza al equipo de trabajo.

Por eso resulta imprescindible aplicar reglas claras y mantener un lenguaje preciso. También es necesario usar técnicas que permitan captar la necesidad real y expresarla sin ambigüedades. Las herramientas de apoyo cumplen un rol clave, ya que ayudan a dar coherencia, trazabilidad y verificabilidad al conjunto.
De esta manera se reducen los riesgos y se optimizan los recursos disponibles. Pero, sobre todo, se garantiza que el software entregado responda a las necesidades de los usuarios. Con disciplina y atención en esta etapa crítica es posible transformar expectativas en resultados concretos y valiosos.

Al momento de realizar el trabajo pudimos observar que existen muchas herramientas y técnicas para realizar una buena escritura de requisitos, y que la elicitación de estos es muy importante para el desarrollo de un proyecto. Además, nos deja como aprendizaje la necesidad de aplicar un proceso cuidadoso y no subestimar este paso. En nuestra práctica profesional, utilizaremos lo aprendido para actuar no solo como desarrolladores, sino como facilitadores que traducen necesidades complejas en especificaciones precisas y realizables, asegurando que el producto final agregue valor.

**Referencias.**

[1] Northware. (s.f.). Técnicas efectivas para la toma de requerimientos. Northware. https://www.northware.mx/blog/tecnicas-efectivas-para-la-toma-de-requerimientos/

[2] INTEGRA Tecnología. (26 de diciembre de 2023). Cómo hacer una buena toma de requerimientos y no morir en el intento | La Innovación Necesaria. https://www.integratecnologia.es/la-innovacion-necesaria/como-hacer-una-buena-toma-de-requerimientos-y-no-morir-en-el-intento/

[3] Creately. (4 de enero de 2024). 9 herramientas visuales para reunir requisitos de su software. Creately Blog. https://creately.com/blog/es/diagramas/herramientas-recopilar-requisitos-software/

[4] Jorge Bernal. Errores Comunes en la Captura de Requisitos para el Desarrollo de Software. https://www.blmovil.com/errores-comunes-en-la-captura-de-requisitos-para-el-desarrollo-de-software/

[5] Wiegers, K.E., & Beatty, J. (2013). *Software requirements*. Microsoft press.

[6] Standish Group. (1995). *The CHAOS Report*. Standish Group.

[7] EngPrax. (2023). Higher failure rates for agile software projects: Study finds. Recuperado de https://www.engprax.com/post/268-higher-failure-rates-for-agile-software-projects-study-finds

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[8] Standish Group. (2015). *The CHAOS Report*. Standish Group.

[9] Sigrid Sterckx. (18 de agosto 2015). "You hoped we would sleep walk into accepting the collection of our data": controversies surrounding the UK care.data scheme and their wider relevance for biomedical research

**Datos de Contacto:**

- *Beas Valentina. Instituto Universitario Aeronáutico. 5110*
  *vbeas461@alumnos.iua.edu.ar*
- *Caparroz Sebastián. Instituto Universitario Aeronáutico. 5151*
  *scaparroz724@alumnos.iua.edu.ar*
- *Cardetti Facchin Joaquín. Instituto Universitario Aeronáutico. 5022*
  *jcardetti999@alumnos.iua.edu.ar*

*Universidad de la Defensa Nacional, Instituto Universitario Aeronáutico*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ¿Diseñando lo Infalible?
# Requerimientos en Sistemas Críticos de Alto Riesgo

***Instituto Un***
**Alasino, Benjamin; Calvo, Tomas ;Contreras, Joaquin ; Gonzalez, Martin.**
***iversitari Aeronáutico (IUA), Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*En el marco de la materia Procesos de Desarrollo de Software I, de la carrera de Ingeniería Informática, se realiza este trabajo que analiza los aspectos fundamentales de la Ingeniería de Requerimientos en sistemas críticos de seguridad, destacando el uso de técnicas y herramientas eficientes para garantizar la conformidad, la seguridad y la confiabilidad del software. Se subraya la importancia de esta disciplina como factor clave para la mitigación de riesgos y la protección de sistemas que operan en contextos sensibles.*

*En la revisión de la literatura se ofrece una visión detallada de los sistemas críticos, resaltando sus características particulares y las estrictas exigencias que imponen al desarrollo de software. A partir de las mejores prácticas identificadas, se propone una metodología estructurada de trabajo que incluye prácticas de implementación y los elementos esenciales para una ingeniería de requerimientos efectiva. Esto abarca el uso de plataformas colaborativas, herramientas para la formulación, verificación y validación de requerimientos, así como mecanismos para la recolección y análisis de datos y programas de formación que doten a los profesionales de las competencias necesarias.*

**Palabras Clave**
Ingeniería de Requerimientos, Sistemas Críticos, Métodos Formales, Análisis de Riesgos, Autonomía de Sistemas, Gemelos Digitales, Desarrollo Ágil en Contextos Críticos

## 1. Introducción

En un mundo cada vez más dependiente de la tecnología, los sistemas críticos para la seguridad se han convertido en componentes fundamentales de sectores como la aviación, la medicina, la automoción, la energía nuclear y las finanzas. En estos entornos, una falla puede tener consecuencias catastróficas, desde la pérdida de vidas humanas hasta daños ambientales severos o colapsos económicos. Este nivel de riesgo exige que el desarrollo de software y sistemas se lleve a cabo bajo enfoques especialmente rigurosos.

La Ingeniería de Requerimientos juega un papel esencial, ya que permite identificar, documentar y verificar las necesidades funcionales y no funcionales que el sistema debe cumplir para operar de manera segura y confiable. A diferencia de los sistemas convencionales, los sistemas críticos requieren que estos sean más precisos, verificables y trazables, capaces de anticipar y mitigar fallos potenciales.

Este trabajo explora los desafíos que implica el diseño de requerimientos en sistemas críticos de alto riesgo, así como las metodologías y marcos normativos utilizados para abordarlos. A través de un análisis crítico de la literatura y de las mejores prácticas, se busca destacar la importancia de adoptar enfoques formales, normativos y adaptativos para asegurar la calidad y seguridad del software en entornos donde el error no es una opción.[1]

## 2.Sistemas críticos

### 2.a Características de los sistemas críticos

Los sistemas críticos para la seguridad son aquellos cuya falla puede desencadenar consecuencias severas, como pérdidas humanas, daños ambientales significativos o perjuicios económicos de gran escala. Debido a estas implicancias, estos sistemas deben ser diseñados con un enfoque centrado en la prevención de fallos, la detección temprana de errores y la mitigación de sus efectos.

Una de las propiedades más distintivas de estos sistemas es su alta confiabilidad, definida como la capacidad de funcionar correctamente durante períodos prolongados y bajo condiciones operativas variables. A

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



esto se suma la disponibilidad constante, dado que una interrupción, incluso breve, puede comprometer servicios esenciales o poner en peligro vidas humanas.

Asimismo, estos sistemas deben incorporar mecanismos de tolerancia a fallos, es decir, la capacidad de continuar operando de forma segura ante eventos inesperados. Para lograrlo, se implementan técnicas como la redundancia en hardware y software, la conmutación automática ante fallos, y la degradación controlada del sistema. Estas estrategias buscan asegurar que, ante cualquier eventualidad, el sistema mantenga un comportamiento predecible y dentro de márgenes aceptables de riesgo.

Otro aspecto fundamental es el cumplimiento normativo. Dada la criticidad de su operación, estos sistemas deben alinearse con estándares y regulaciones específicos del sector. Por ejemplo, la norma DO-178C es aplicada en la industria aeronáutica para el desarrollo de software aeronáutico, mientras que la ISO 26262 regula la seguridad funcional en sistemas automotrices. Estos marcos normativos establecen criterios rigurosos para la especificación, diseño, verificación y validación del software.

Por último, el proceso de desarrollo en sistemas críticos se caracteriza por su alto grado de trazabilidad y documentación exhaustiva en cada etapa del ciclo de vida. Esto no solo permite verificar que se cumplen los requisitos, sino también proporcionar evidencia clara en auditorías, certificaciones y análisis posteriores a incidentes. En contextos donde la incertidumbre y el riesgo son elevados, esta trazabilidad se convierte en una herramienta clave para generar confianza y responsabilidad técnica.

**2.b. Fallos en requerimientos de sistemas críticos**

Los sistemas críticos requieren una sustentación mucho más rigurosa al momento de redactar requerimientos, no hay que dejar lugar a ningún tipo de improvisación o actuación sobre la marcha, todo debe estar definido previamente, ya que al tratarse de aspectos más amplios, el resultado alcanzará un nivel de calidad superior al habitual, aunque con un costo más elevado. Casos en los que no se ha actuado de manera rigurosa han desencadenado tragedias, algunas de ellas se mencionan a continuación:

– En 1995, el cohete *Arianne* 5 de la Agencia Espacial Europea sufrió una explosión 40 segundos después del despegue. El error pudo atribuirse a un fallo en un sistema de control inercial, donde un número de punto flotante de 64 bits se convirtió a un entero de 16 bits, causando una excepción por *overflow*, 7 billones de dólares y 10 años de trabajo destruidos en unos segundos. Siendo esto comentado en la BBC.

- El año 1999, el satélite *Mars Climate Orbiter* se estrelló contra la superficie de Marte cuando intentaba entrar en órbita, con un costo de 655 millones de dólares. La causa fue un problema en el intercambio de información entre dos subsistemas *software* del satélite, que estaban utilizando unidades de medida diferentes para representar las distancias (kilómetros y millas). Siendo esto comentado [2]

– En el año 2012, la firma de inversión *Knight Capital Group* perdió 440 millones de dólares (10 millones por minuto) por un error en su *software* de inversiones financieras, que realizó transacciones sin controlar que estaban generando pérdidas en lugar de beneficios. Es lo que pasa cuando tu código de prueba acaba en el entorno de producción.

Estos son sólo algunos casos a lo largo de la historia. Si bien es complejo de verificar si ha sido producto de una mala Ingeniería de Requerimientos o una mala praxis, estos ejemplos demuestran lo grave que puede ser un mínimo error de cálculo, o algo que debió

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



haber sido especificado previamente y no lo fue.

**2.c Metodologías para la ingeniería de Requerimientos aplicada a Sistemas Críticos**

La especificación adecuada de requerimientos es esencial en el desarrollo de sistemas críticos, ya que cualquier ambigüedad, inconsistencia u omisión puede desencadenar fallos con consecuencias catastróficas. En este contexto, la Ingeniería de Requerimientos debe adoptar metodologías rigurosas que permitan capturar y validar de forma precisa las necesidades del sistema, dentro de un marco normativo estricto y en colaboración con las múltiples partes interesadas.[4]

**2.c.1 Enfoques formales y semiformales**

Uno de los enfoques más utilizados en sistemas críticos es el uso de métodos formales, que emplean técnicas matemáticas para especificar, modelar y verificar requisitos. Herramientas como Z, B-Method o Alloy permiten representar requerimientos de manera no ambigua y probar propiedades del sistema antes de su implementación, lo que resulta especialmente útil para detectar errores en etapas tempranas.[5] Sin embargo, su uso requiere conocimientos especializados y puede ser costoso en términos de capacitación y tiempo.

En entornos donde la aplicación de métodos puramente formales no es viable, se recurre a enfoques semiformales, como los diagramas UML, SysML o los lenguajes de modelado orientados a requerimientos. Estos permiten representar relaciones entre actores, metas y restricciones del sistema con un balance entre precisión técnica y comprensibilidad por parte de los usuarios no técnicos.[3]

**2.c.2 Ciclos de vida normativos y adaptados**

En la ingeniería de sistemas críticos, los modelos de desarrollo frecuentemente están alineados con normas sectoriales específicas. Por ejemplo, el modelo en V es ampliamente adoptado, ya que permite una trazabilidad clara entre las etapas de especificación, diseño, implementación, verificación y validación. Este enfoque es compatible con regulaciones como IEC 61508, DO-178C o ISO 26262, que exigen evidencias documentadas del cumplimiento de requisitos de seguridad funcional y fiabilidad.

Sin embargo, en los últimos años también se ha observado una tendencia hacia la adaptación de enfoques ágiles en contextos críticos, mediante marcos como *Agile Safety Case* o *SAFE Scrum*. Estos intentan combinar la flexibilidad iterativa del desarrollo ágil con la necesidad de garantizar cumplimiento normativo y trazabilidad, lo cual sigue siendo un desafío abierto.

**2.c.3 Técnicas complementarias de especificación**

Además del enfoque metodológico general, existen técnicas específicas que fortalecen la ingeniería de requerimientos en sistemas críticos:

- Revisión estructurada de requerimientos,para detectar ambigüedades, contradicciones o vacíos lógicos.
- Prototipado y simulación temprana, útil para validar funcionalidades críticas antes de su implementación final.
- Análisis de riesgo y peligros (Hazard Analysis, FMEA, HAZOP), que permite vincular los requisitos a los mecanismos de mitigación de riesgo.
- Modelado basado en casos de uso críticos, enfocado en los escenarios donde el sistema puede fallar y debe reaccionar de forma segura.

**3. Estándares y Regulaciones Relevantes en el Desarrollo de Sistemas Críticos**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El desarrollo de sistemas críticos está fuertemente regulado por estándares internacionales que buscan garantizar la seguridad funcional, la fiabilidad y la trazabilidad a lo largo de todo el ciclo de vida del sistema. Estos estándares definen requisitos tanto técnicos como procesales que deben ser cumplidos por los equipos de desarrollo, y su cumplimiento suele ser un prerrequisito para la certificación y puesta en operación del sistema.

**3.a Normas sectoriales clave**

Cada industria cuenta con estándares específicos adaptados a sus riesgos y particularidades operativas:

- DO-178C: Utilizada en la industria aeroespacial, establece criterios para el desarrollo seguro de software embarcado en aeronaves. Introduce niveles de criticidad (A a E) según el impacto de una falla, y exige evidencia de cumplimiento riguroso en cada nivel.

- ISO 26262: Se aplica al sector automotriz y define la seguridad funcional para sistemas eléctricos/electrónicos en vehículos. Introduce el concepto de *Automotive Safety Integrity Level* (ASIL) para clasificar el riesgo y establecer medidas correspondientes. [6]

- IEC 61508: Considerado el estándar genérico para sistemas eléctricos/electrónicos relacionados con la seguridad. Su enfoque basado en el ciclo de vida completo lo convierte en la base de estándares derivados en sectores como la energía, química o manufactura.

- EN 50128 / EN 50129: Normas europeas para sistemas ferroviarios que establecen requerimientos para software y sistemas de control y señalización.

- IEC 62304: Utilizada en el desarrollo de software de dispositivos médicos, establece prácticas de gestión del ciclo de vida y análisis de riesgos.

Estos estándares no sólo regulan el desarrollo técnico, sino que imponen requisitos formales sobre la gestión de requerimientos, trazabilidad bidireccional, revisión de documentos, análisis de impacto y validación. [5]

**4. Escenarios complejos**

A pesar de los avances en metodologías y normativas, el desarrollo de sistemas críticos enfrenta una serie de desafíos contemporáneos que exigen repensar las prácticas tradicionales de Ingeniería de Requerimientos. La transformación digital, el aumento de la autonomía y la integración con inteligencia artificial están generando escenarios de complejidad sin precedentes.

**4.a Aumento de la autonomía y comportamiento no determinista**

Sistemas como los vehículos autónomos, robots quirúrgicos o drones inteligentes requieren especificaciones que contemplen decisiones en tiempo real basadas en entornos cambiantes. Esto desafía la capacidad de predecir y verificar todos los posibles estados del sistema, lo que a su vez complica la validación de requisitos de seguridad en contextos dinámicos.

**4.b ML *(Machine learning)***

El uso creciente de modelos de aprendizaje automático introduce opacidad (caja negra) en componentes críticos, dificultando la verificación formal de requerimientos. Específicamente, resulta problemático garantizar comportamientos seguros en todas las condiciones operativas, dado que el modelo puede reaccionar de forma inesperada ante entradas atípicas.

**4.c. Nuevas herramientas y paradigmas**

Emergen enfoques prometedores como el uso de gemelos digitales para validar requerimientos en entornos simulados de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



alta fidelidad, o el aprovechamiento de procesamiento de lenguaje natural (PLN) y *machine learning* para automatizar la extracción, análisis y validación de requisitos desde documentos naturales.

Estos desafíos y tendencias exigen una evolución de las prácticas tradicionales de ingeniería de requerimientos, promoviendo enfoques más adaptativos, colaborativos y asistidos por herramientas inteligentes que mantengan la rigurosidad requerida en sistemas donde el error no es una opción.

## 5. Metodologías para la ingeniería de requisitos en sistemas críticos

La correcta especificación de requisitos es esencial en el desarrollo de sistemas críticos. A continuación, se presentan algunas metodologías ampliamente utilizadas en este contexto, cada una con enfoques complementarios para asegurar la calidad, trazabilidad y validación de requerimientos:

### 5.a. KAOS (*Knowledge Acquisition in Automated Specification*)

KAOS es una metodología orientada a objetivos (GORE) desarrollada por Axel van Lamsweerde, que permite refinar metas abstractas en requisitos operacionales mediante lógica formal. Su principal fortaleza radica en la trazabilidad entre objetivos del negocio y especificaciones técnicas, permitiendo identificar conflictos, restricciones del dominio y supuestos del entorno. Es ampliamente utilizada en dominios como el aeroespacial, militar y automotriz. Su implementación suele apoyarse en herramientas como Objectiver o SysML.

### 5.b. GSN (*Goal Structuring Notation*)

GSN es una notación gráfica empleada para estructurar argumentos de seguridad mediante la vinculación entre objetivos (*goals*), estrategias y evidencias. Es fundamental en la elaboración de *safety cases*, requeridos por normas como ISO 26262 o DO-178C. Originada en la industria nuclear, su uso se ha extendido al sector ferroviario, médico y aeronáutico. Herramientas como ASCE o GSN Editor facilitan su adopción en entornos regulados.

### 5.c. STPA (*System-Theoretic Process Analysis*)

STPA es una técnica de análisis de riesgos basada en la teoría de sistemas, propuesta por Nancy Leveson (MIT). A diferencia de enfoques tradicionales como FMEA o HAZOP, STPA se enfoca en fallas emergentes por interacciones incorrectas, decisiones deficientes o retroalimentación inadecuada. Resulta particularmente efectiva en sistemas socio-técnicos complejos, siendo adoptada por organizaciones como Boeing, NASA y General Motors.

### 5.d. *Volere*

*Volere* es una plantilla estructurada para la especificación de requerimientos, desarrollada por Suzanne y James Robertson. Incluye más de 60 secciones que abordan tanto requisitos funcionales como no funcionales, y destaca por promover formatos estandarizados que reducen la ambigüedad. Se adapta a metodologías ágiles y tradicionales, y es común en sectores como finanzas, salud y gobierno. Puede implementarse mediante herramientas como IBM DOORS o documentos ofimáticos.

### 5.e. *SCRAM (Scenario Requirements Analysis Method)*

SCRAM emplea escenarios para identificar y analizar requisitos bajo condiciones normales y anómalas. Favorece la participación de *stakeholders* mediante sesiones colaborativas que permiten descubrir requisitos latentes, riesgos operacionales y problemas de interacción. Es útil en industrias donde los errores pueden ser críticos, como la aeronáutica o la energía nuclear. Su implementación combina análisis de casos de uso con diagramas (UML, flujos, redes de Petri).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**6. Aplicación de Metodologías en Sistemas Críticos**

La Ingeniería de Requerimientos en sistemas críticos para la seguridad no sólo se rige por contenido teórico, sino que se manifiesta de manera práctica en industrias donde los errores pueden costar vidas o causar catástrofes. Analizar estudios de casos concretos permite evidenciar cómo se aplican los estándares y técnicas en proyectos reales, así como los desafíos encontrados y las lecciones aprendidas. A continuación, se describen dos de los casos representativos mencionados al principio de este trabajo: la aviación y la industria automotriz.

**6.a. Caso Ariane 5: Explosión tras lanzamiento** Industria: Aeroespacial
Nivel de criticidad: Altísimo – un error comprometió toda la misión espacial.
Normativas aplicadas: No se cumplieron con los controles necesarios de verificación que habrían evitado el fallo.

El 4 de junio de 1996, el cohete Ariane 5 de la Agencia Espacial Europea explotó apenas 40 segundos después de su lanzamiento. El error se originó en el sistema de control inercial, donde un número de punto flotante de 64 bits fue convertido erróneamente a un entero de 16 bits, provocando un desbordamiento (*overflow)* y el fallo inmediato del sistema.

Fallos destacados:

- Insuficiente validación de los requerimientos en escenarios de vuelo distintos al Ariane 4 (su predecesor).
- Reutilización de software sin la debida adaptación a un nuevo entorno operativo.

Resultados:
La explosión supuso la pérdida de 7.000 millones de dólares y 10 años de trabajo. El caso se convirtió en un referente mundial de la importancia de la verificación exhaustiva y la validación formal en sistemas críticos.[7]

**6.b. Caso Knight Capital Group: Colapso financiero por error de software**
Industria: Financiera
Nivel de criticidad: Muy alto – impacto directo en transacciones económicas en tiempo real.
Normativas aplicadas: Regulaciones del mercado financiero de EEUU, aunque con fallas en las pruebas y control de cambios del software.

En agosto de 2012, Knight Capital Group perdió 440 millones de dólares en apenas 45 minutos. El error ocurrió porque fragmentos de código de prueba fueron desplegados en el entorno de producción, lo que generó transacciones defectuosas que compraban y vendían acciones automáticamente con pérdidas millonarias.

Fallos destacados:

- Ausencia de un sistema de control de versiones y despliegue seguro.
- Falta de un plan de contingencia para detener transacciones erróneas en tiempo real.

Resultados:
La empresa quedó al borde de la quiebra y debió ser rescatada. Este caso es un ejemplo paradigmático de cómo una falla en la gestión de requerimientos, pruebas y control de cambios puede tener consecuencias catastróficas en entornos financieros críticos.[8]

**7. Conclusión**

A lo largo de este trabajo se evidenció que la Ingeniería de Requerimientos en sistemas críticos de alto riesgo es esencial para garantizar seguridad, confiabilidad y trazabilidad en entornos donde un fallo puede tener consecuencias catastróficas. La revisión de metodologías y estándares, tales como KAOS, GSN, STPA, Volere, SCRAM

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



y normas DO-178C, ISO 26262 o IEC 61508, demuestra que la rigurosidad en la definición, verificación y validación de requisitos resulta clave para prevenir errores y asegurar el cumplimiento normativo.

Al mismo tiempo, los casos analizados demostraron cómo, incluso pequeñas deficiencias en la gestión de requerimientos, pueden derivar en pérdidas millonarias y daños irreversibles. Frente a este panorama, el contexto tecnológico actual plantea nuevos retos vinculados a la autonomía de los sistemas, la inteligencia artificial y la complejidad creciente del *software*. En este sentido, la adopción de técnicas basadas en NLP y ML, y metodologías híbridas, capaces de integrar agilidad con rigor, se perfilan como el camino para evolucionar la disciplina y mantener la seguridad y confiabilidad en sistemas críticos del futuro.

**Referencias**

[1] Acevedo, J., Lezcano, A., & Irrazábal, E. (2020). *Revisión sistemática de la literatura sobre implementación de arquitecturas software para sistemas críticos*. En CACIC 2020. Universidad Nacional del Nordeste. Recuperado de https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/114080

[2]IEEE Spectrum. (1999, octubre). *Why the Mars probe went off course: Unit conversion error*. IEEE Spectrum. Recuperado de https://spectrum.ieee.org/why-the-mars-probe-went-off-course

[3]Fathabadi, A. S., Snook, C., Dghaym, D., Hoang, T. S., Alotaibi, F., & Butler, M. (2024). *Systematic hierarchical analysis of requirements for critical systems*. *Innovations in Systems and Software Engineering*. https://doi.org/10.1007/s11334-024-00551-8
ion

[4]Kalwaghe, S., & Vitalkar, S. (2024). *Requirements engineering in safety-critical systems*. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 12(4). Recuperado de https://ijcrt.org/papers/IJCRT24A4096.pdf

[5]Palumbo, M. (2015, julio). *Gestión de los requisitos en sistemas críticos de seguridad*. RailwaySignalling.eu. Recuperado de https://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2016/04/gestion-de-los-requisitos-en-sistemas-criticos-de-seguridad.pdf

[6]Synopsys. (s.f.). *ISO 26262*. Recuperado de https://www.synopsys.com/glossary/what-is-iso-26262.html

[7]BBC (*British Brodcasting Corporation*) https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150505_vert_fut_numeros_colapsan_computadoras_yv

[8]Universidad de Alicante: https://blogs.ua.es/pi/2025/06/27/el-error-de-software-de-los-440-millones-de-dolares/

**Datos de Contacto**

*Alasino,Benjamin*
*Calvo,Tomas*
*Contreras,Joaquin*
*Gonzalez,Martin*
*CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO IUA, Córdoba ,Argentina.,X5010*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Línea Base de Requerimientos: Una estrategia para domar el caos Aplicación de la línea base de requerimientos como herramienta de control de alcance

**Bossio, Francisco - Correa, Sofía - Disandro, Tomas - Martinez, Jesús - Vicente, Joaquín**
***Universidad Regional de Córdoba, IUA, Facultad de ingeniería***

**Abstract**
*La línea base de requerimientos es un elemento clave en la gestión de proyectos, ya que establece un conjunto de requisitos formalmente aprobados que sirven como referencia estable durante el ciclo de vida del proyecto.*
*La correcta definición y gestión de los requerimientos es un factor determinante para el éxito de los proyectos de software.*
*Este trabajo, realizado en el marco de la materia Proceso de Desarrollo de Software I, explora el concepto de línea base de requerimientos, su importancia en la definición del alcance y la trazabilidad, y su rol en el control de cambios. A través de un enfoque teórico complementado con un ejemplo práctico, se presentan las ventajas que ofrece la línea base frente a escenarios donde no se implementa, y se discuten las dificultades comunes en su establecimiento y mantenimiento.*
*Se destaca la importancia de incorporar la línea base de requerimientos como una práctica clave dentro del ciclo de vida del software, con el fin de reducir riesgos, mejorar la comunicación entre las partes y aumentar la calidad del producto entregado.*

**Palabras Clave**
Línea base de requerimientos, Stakeholders, Control de cambios, Alcance del proyecto.

## Introducción

En el ámbito del desarrollo de *software* y la gestión de proyectos, el cambio constante, la ambigüedad y la presión por cumplir plazos generan un entorno propenso al desorden y la desalineación entre los actores involucrados. En este contexto, contar con herramientas que permitan establecer un marco claro y consensuado resulta fundamental para evitar desviaciones y garantizar el éxito del proyecto [1].

La línea base de requerimientos surge así como una estrategia clave para domar el caos, actuando como punto de referencia formal que define qué se va a construir, bajo qué condiciones y con qué restricciones [2]. Esta línea base no sólo delimita el alcance, sino que también permite gestionar cambios, mantener la trazabilidad de los requisitos y evaluar el avance con criterios objetivos. A lo largo de este trabajo se analiza el concepto de línea base de requerimientos, su proceso de establecimiento, sus beneficios y su impacto en la estabilidad y el control de los proyectos.

La gestión de proyectos tecnológicos enfrenta desafíos críticos relacionados con la identificación, organización y control de requerimientos [3]. Uno de los pilares fundamentales en este contexto es la línea base de requerimientos, definida como el conjunto de especificaciones documentadas y consensuadas que sirven como punto de referencia estable para guiar el desarrollo de un sistema [4]. Sin embargo, a pesar de su importancia, no siempre se comprende plenamente cómo su correcta definición impacta en la calidad del producto final, la eficiencia del proceso de desarrollo y la mitigación de riesgos asociados.

En la gestión de proyectos, especialmente en el desarrollo de sistemas, la correcta definición y control de los requerimientos es esencial para lograr productos alineados con las necesidades del cliente.

Una gestión deficiente de estos requerimientos puede traducirse en desvíos de alcance, sobrecostos, reelaboración e incluso el fracaso del proyecto. En este contexto, la línea base de requerimientos se presenta como una técnica clave para evitar estos problemas, ya que permite establecer, formalizar y controlar el conjunto de requerimientos aprobados que guiarán el desarrollo. Sirve además como punto de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



referencia para la planificación, ejecución y validación del producto final, asegurando que todos los actores trabajen sobre un entendimiento común y consensuado.
El presente estudio utiliza como caso de análisis el diseño de un sistema de control de acceso para un barrio cerrado, una comunidad cerrada con infraestructura diversa y problemas significativos en la gestión de flujos vehiculares y peatonales. Entre las problemáticas detectadas destacan embotellamientos en horas pico, registros manuales ineficientes y una alta dependencia de la intervención humana, que afectan tanto la experiencia de los usuarios como la seguridad general del barrio.
A través de un enfoque investigativo, este artículo propone un proceso estructurado para la construcción de la línea base de requerimientos. Este proceso incluye cinco etapas clave:

1. Descubrimiento de requerimientos, que permite identificar las necesidades de los *stakeholders*.

2. Clasificación y organización de requerimientos, para agruparlos según su naturaleza y relevancia.

3. Priorización y negociación de requerimientos, orientada a establecer un consenso sobre su importancia relativa.

4. Especificación de requerimientos, mediante la documentación detallada de cada requerimiento.

5. Validación y verificación de requerimientos, para garantizar su precisión y viabilidad técnica.

La finalidad de este estudio es mostrar cómo este enfoque puede ser replicado en otros proyectos y destacar la importancia de la línea base de requerimientos en el contexto de la ingeniería de *software*. Asimismo, se analizan las consecuencias de no contar con una línea base claramente definida, como desviaciones en el alcance, sobrecostos y problemas de calidad en el producto final.
Finalmente, este artículo busca contribuir al campo de la gestión de proyectos tecnológicos, proporcionando un marco práctico para entender el papel estratégico de la línea base de requerimientos y su relación con temas como la mitigación de riesgos, la trazabilidad y la gestión del cambio en proyectos complejos.

**Antecedentes y Fundamentos**

De acuerdo con lo mencionado previamente, la línea base de requerimientos es un conjunto de requerimientos que han sido revisados y acordados formalmente, estableciendo una referencia estable para el desarrollo del proyecto. En la Ingeniería de *Software*, su correcta definición es esencial para garantizar que el producto final cumpla con las expectativas del cliente [5] y se ajuste a los objetivos iniciales del proyecto. Sin embargo, el manejo de requerimientos supone obstáculos importantes, especialmente en proyectos complejos o en constante evolución.
Uno de los principales problemas en la gestión de proyectos de *software* es la definición inadecuada o incompleta de la línea base de requerimientos. Esto puede originar errores de interpretación, cambios descontrolados en el alcance del proyecto y, en última instancia, al fracaso del mismo. La falta de una línea base clara dificulta la comunicación entre las partes interesadas y complica la gestión de cambios, lo que puede resultar en retrasos y sobrecostos.
Implementar una línea base de requerimientos bien definida permite:

- Mejorar la comunicación entre los equipos de desarrollo y los *stakeholders*.
- Facilitar el control de cambios, asegurando que cualquier modificación sea evaluada y aprobada formalmente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Garantizar la alineación del desarrollo con los objetivos y necesidades del cliente.
- Reducir riesgos asociados a desviaciones en el alcance y funcionalidades del proyecto.

La correcta gestión de la línea base de requerimientos es aplicable en diversos contextos, tales como:

- Proyectos de desarrollo de *software*: Asegurando que el producto final cumpla con las especificaciones acordadas.
- Implementación de sistemas complejos: Facilitando la integración de múltiples componentes y tecnologías.
- Metodologías ágiles: Adaptando la gestión de requerimientos a entornos dinámicos y flexibles, manteniendo el control sobre los cambios.

**Proceso Formal de Gestión de Cambios**

Una vez establecida, la línea base de requerimientos se convierte en un documento formal que sólo puede modificarse mediante un proceso controlado. Esta capacidad de controlar los cambios es fundamental para evitar desviaciones no justificadas en el alcance del proyecto [6].
Es fundamental para garantizar que los proyectos se mantengan dentro de los plazos, el presupuesto y las necesidades de las partes interesadas, incluso cuando los requisitos evolucionan.
El proceso de gestión de cambios consiste en una serie de pasos, como se puede visualizar en la figura 1, que permiten evaluar, aprobar y documentar cualquier modificación propuesta [7]. Generalmente, este proceso incluye:

1. Solicitud de cambio (*RFC – Request for Change*): Un interesado (cliente, desarrollador, tester, etc) presenta una solicitud documentada que describe el cambio propuesto, el motivo y el impacto esperado.

2. Evaluación del impacto: Se analiza cómo afectaría el cambio al alcance, tiempo, costos, calidad y riesgos del proyecto. También se considera si entra en conflicto con otros requerimientos ya definidos.

3. Revisión por el comité de control de cambios (*CCB – Change Control Board*): Un grupo responsable (puede ser el líder de proyecto, analistas clave, representantes del cliente, etc.) revisa la solicitud, el análisis de impacto y decide si se aprueba, rechaza o pospone el cambio.

4. Actualización de la línea base (si se aprueba): Si se aprueba, se actualiza la línea base, se documenta la nueva versión del requerimiento y se notifican los cambios al equipo.

5. Trazabilidad y control: Se actualizan los documentos de trazabilidad para reflejar el cambio y su justificación. Esto asegura que los nuevos requerimientos sean tenidos en cuenta en el desarrollo y pruebas.

Este proceso garantiza que cualquier cambio sea tratado de forma transparente, consensuada y alineada con los objetivos del proyecto, evitando así modificaciones arbitrarias o descoordinadas.
La gestión de cambios no impide evolucionar el proyecto, pero asegura que esa evolución sea controlada, comunicada y justificada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**Figura 1:** Flujo de gestión de cambios en la línea base

**Implementación de la línea base en el dominio**

El desarrollo de este proyecto parte de una necesidad concreta: mejorar la gestión del ingreso y egreso de personas y vehículos en el barrio cerrado. Para abordar esta problemática, es esencial establecer una línea base de requerimientos sólida que permita guiar el diseño y asegurar el cumplimiento de las expectativas de los usuarios finales.

**Proceso de obtención de requerimientos**

El proceso de captura de requerimientos se organiza en cinco fases, atendiendo al esquema propuesto en la introducción; estas incluyen:

- Descubrimiento de requerimientos:

Se llevan a cabo entrevistas con los encargados de seguridad, los habitantes del barrio y el personal administrativo. Gracias a estas interacciones, se determinan las necesidades fundamentales, incluyendo la automatización del control de accesos, la reducción de embotellamientos y la trazabilidad de los ingresos.

- Clasificación y organización:

Los requerimientos identificados se agrupan en categorías funcionales y no funcionales.

- Priorización y negociación:

En articulación con los *stakeholders*, se define un esquema de priorización de los requerimientos, destacando como prioritarios aquellos de naturaleza crítica para la seguridad, mientras que los vinculados con mejoras visuales o con la experiencia de usuario se consideran de carácter secundario.

- Especificación de requerimientos:

Cada requerimiento se registra de forma estructurada, empleando un lenguaje preciso y sin ambigüedades.

- Validación y verificación:

La línea base se presenta a los *stakeholders* para su revisión y posterior aprobación. Desde ese punto, todo cambio o incorporación se somete a un proceso formal de gestión de cambios, asegurando así la estabilidad del alcance del proyecto.

**Consolidación de la línea base de requerimientos**

Este enfoque establece una base robusta sobre la cual se desarrolla el sistema, contribuyendo a minimizar ambigüedades y a optimizar tanto el diseño como la implementación. A su vez, la línea base adquiere el carácter de herramienta fundamental para el control del avance y la detección temprana de posibles desviaciones.

Como resultado de este proceso, se establece la línea base de requerimientos, que representa un hito dentro de la Ingeniería de Requerimientos, ya que implica que los requerimientos han sido consensuados, validados y congelados, permitiendo así un control riguroso sobre cualquier cambio posterior.

Para implementar una línea base de requisitos con éxito, es necesario seguir una secuencia de pasos, permite garantizar que estén correctamente documentados, sean accesibles y aprobados por todas las partes interesadas. Este proceso implica recopilar, organizar y formalizar los requisitos, al tiempo que se utilizan herramientas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



especializadas para optimizar la gestión de líneas base.

El primer paso consiste en una recolección exhaustiva de requerimientos, recopilados de las partes interesadas, asegurándose de que sean claros, completos y documentados. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de aprobación formal por parte de los *stakeholders*, quienes revisan y validan los requerimientos propuestos. Este acto de conformidad establece un marco común de entendimiento entre todas las partes involucradas y contribuye a disminuir de manera significativa el riesgo de interpretaciones ambiguas o modificaciones no previstas.

Una vez aprobados, se procede a asignar números de versión o identificadores únicos a las líneas base, lo cual permite rastrear su evolución a lo largo del ciclo de vida del proyecto[8][9]. Esta práctica favorece la trazabilidad y facilita la comparación entre distintas versiones en caso de modificaciones.

Asimismo, la documentación de la línea base debe organizarse y almacenarse en un repositorio accesible y centralizado, respetando normas claras de documentación, de modo que cualquier miembro del equipo pueda consultarla y comprenderla con facilidad.

Finalmente, para controlar el alcance y garantizar que todos los cambios se mantengan alineados con los objetivos del proyecto, es indispensable contar con un proceso formal de gestión de cambios[10]. Dicho proceso, mencionado en la figura 1 , asegura que toda modificación sea evaluada, autorizada y registrada de manera controlada.

De este modo, se preserva la trazabilidad de los requerimientos y se garantiza que cualquier alteración en la línea base sea transparente, justificada y comunicada a todos los actores involucrados.

**Definición de Requerimientos**

Como resultado de los pasos expuestos anteriormente, se consolidan y formalizan los requerimientos fundamentales para la implementación del sistema automatizado de control de acceso en el barrio. Tales requerimientos se acuerdan y aprueban en conjunto con los actores pertinentes, lo que garantiza la existencia de una base técnica sólida que respalda la continuidad del desarrollo del sistema. A continuación, se detallan algunos aspectos funcionales y aspectos no funcionales.

Funcionales del sistema:

- Registro de personas y vehículos autorizados (nombre, DNI, rango, fotografía, tipo de acceso).
- Verificación de credenciales mediante RFID o reconocimiento facial.
- Registro automático de entradas/salidas con *timestamp*.
- Generación de informes diarios/semanales/mensuales (movimientos, estadísticas).
- Control de inventarigo de equipos/vehículos ingresados.

Aspectos no funcionales:

- Rendimiento: Capacidad para procesar más de 500 transacciones simultáneas sin degradación en el rendimiento.
- Seguridad: Cumplimiento de estándares, tales como el cifrado AES-256.
- Disponibilidad: 99% de tiempo activo, excluyendo mantenimientos programados.
- Interoperabilidad: Compatibilidad con sistemas heredados del barrio.

**Estrategia de validación y control de cambios**

Con el propósito de asegurar el éxito del proyecto, se adoptaron estos pasos para mantener un control efectivo sobre el alcance y los objetivos, teniendo en cuenta las particularidades del barrio.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En una primera etapa, se efectúan entrevistas con el personal de seguridad, los residentes y los responsables administrativos del barrio, así como sesiones de análisis en terreno durante los periodos de mayor tránsito. Estas instancias permiten recopilar información fundamental acerca de las necesidades del sistema, entre las que se destacan el control eficiente de accesos vehiculares y peatonales, la reducción de los tiempos de espera y el fortalecimiento de la seguridad mediante la trazabilidad. La documentación de los requerimientos se realiza a través de una plantilla estandarizada, con el fin de asegurar claridad, precisión y ausencia de ambigüedades.

Una vez consolidados los requerimientos, se efectúa una presentación con los *stakeholders* con el propósito de validar y consensuar los puntos críticos. La validación formal se materializa a través de un acta firmada, la cual establece el compromiso explícito de todas las partes con los requerimientos acordados. Este paso se considera fundamental para prevenir discusiones o malentendidos posteriores en torno al alcance funcional del sistema.

A cada versión de la línea base se le asigna un identificador único que integra la fecha de aprobación y la identificación de los responsables.

Este enfoque permite ejercer un control riguroso sobre los cambios incorporados en versiones posteriores y asegurar la trazabilidad integral de los requerimientos desde su definición inicial hasta su implementación.

La documentación generada se conserva en un repositorio digital compartido, administrado a través de una herramienta de control de versiones basada en la nube, lo que asegura un acceso restringido y la disponibilidad permanente de la información para la totalidad del equipo de desarrollo. Los requerimientos se consignan en un formato unificado que incorpora código identificador, descripción, clasificación (funcional o no funcional), nivel de prioridad y estado.

En última instancia, se instituye un procedimiento formal para la gestión de cambios sobre la línea base. Toda solicitud de modificación se somete al comité de proyecto, donde es evaluada en relación con su impacto técnico y funcional, y únicamente se incorpora a una nueva versión de la línea base tras su aprobación. Esta estrategia asegura el control del alcance y la prevención de desviaciones no planificadas a lo largo del desarrollo.

**Recomendaciones y buenas prácticas**

Para garantizar una implementación efectiva de la línea base de requerimientos, es fundamental seguir una serie de buenas prácticas que promuevan la claridad, el control y la colaboración entre todos los actores involucrados en el proyecto. A partir de la experiencia obtenida en el desarrollo del sistema para el barrio, se destacan las siguientes recomendaciones:

- Mantener la transparencia:

Es esencial que la línea base de requerimientos sea accesible para todos los miembros del equipo y *stakeholders* pertinentes. La comunicación abierta respecto a cambios o actualizaciones minimiza malentendidos, mejora la trazabilidad y fortalece la rendición de cuentas en el equipo de trabajo.

- Uso de líneas base iterativas:

En proyectos que presentan una evolución constante o se desarrollan bajo metodologías ágiles, es recomendable establecer líneas base parciales o iterativas en hitos clave del desarrollo. Este enfoque permite adaptar y refinar los requerimientos sin comprometer la estabilidad general del proyecto [11].

- Integración de bucles de retroalimentación:

La revisión periódica de la línea base, basada en el *feedback* recibido por las partes interesadas durante el avance del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



proyecto, contribuye a mantener su vigencia y alineación con los objetivos actuales. Este proceso proactivo permite detectar desviaciones tempranas y ajustarlas sin grandes impactos.

**Herramientas de soporte**

Estas prácticas, aplicadas de manera sistemática, fortalecen el control del alcance, reducen los riesgos asociados a cambios descontrolados y favorecen una mejor alineación entre los objetivos técnicos y las expectativas del cliente.

En cuanto al soporte tecnológico, se destaca el uso de herramientas especializadas como *Visure Requirements ALM*, una plataforma orientada a la gestión integral del ciclo de vida de los requerimientos. Esta herramienta permite crear, modificar y controlar líneas base de manera eficiente, ofreciendo funcionalidades como control de versiones, trazabilidad completa, flujos de trabajo de aprobación y gestión de cambios. Su adopción resulta especialmente útil en proyectos complejos o de gran escala, donde la correcta administración de los requerimientos representa un desafío crítico [12].

**Trabajos futuros**

Como línea de continuidad del presente trabajo, se propone profundizar en la gestión de la línea base de requerimientos mediante la incorporación de enfoques y herramientas orientadas a la agilidad y la automatización del proceso. En este sentido, resulta pertinente explorar la integración de metodologías ágiles, tales como *Scrum* o *Kanban*, con el objetivo de establecer líneas base iterativas que favorezcan la adaptación dinámica de los requerimientos ante cambios en el entorno del proyecto, sin comprometer la trazabilidad ni el control del alcance.

Asimismo, se plantea la posibilidad de implementar herramientas colaborativas de gestión de proyectos, como Jira, Trello o Azure DevOps, que permitan centralizar el registro, aprobación y seguimiento de los cambios de manera más eficiente y transparente. Estas plataformas contribuirían a optimizar la comunicación entre los actores involucrados y a reducir los tiempos de respuesta frente a modificaciones en los requerimientos.

Otro aspecto relevante para futuras investigaciones radica en la automatización del versionado y del control de trazabilidad, mediante la utilización de sistemas de *Application Lifecycle Management* (ALM) o la incorporación de *scripts* que minimicen la intervención manual. Complementariamente, el uso de técnicas de inteligencia artificial y análisis predictivo podría facilitar la detección temprana de inconsistencias, duplicidades o riesgos de cambio, incrementando la calidad del proceso de gestión.

Finalmente, se propone ampliar el caso de estudio hacia proyectos de mayor complejidad o desarrollados en entornos distribuidos, con el fin de evaluar la escalabilidad, adaptabilidad y desempeño del enfoque propuesto. Estas líneas de trabajo permitirían fortalecer el marco metodológico presentado y consolidar la línea base de requerimientos como una herramienta ágil, robusta y estratégica dentro del ciclo de vida del *software*.

**Conclusión**

La experiencia desarrollada en el presente trabajo evidencia que la aplicación de la línea base de requerimientos constituye un factor decisivo para el éxito del desarrollo del sistema de control de ingreso y egreso en el barrio. Se ha implementado en este proyecto como un proceso sistemático, tangible y válido que a través de una serie ordenada de tareas y actividades que guía el trabajo con los requerimientos, a partir de una línea base de referencia estable.

Su implementación permite organizar y consensuar las necesidades de los distintos actores, establecer prioridades claras y garantiza que las decisiones técnicas se mantienen alineadas con los objetivos del proyecto.

El uso de la línea base posibilita mantener un registro ordenado y trazable de cada

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



requerimiento, reduciendo ambigüedades y minimizando la aparición de conflictos durante el desarrollo. Asimismo, favorece la coordinación entre los equipos involucrados, aportando una referencia estable que orienta cada etapa del proceso.

De esta manera, el caso práctico confirma que la gestión rigurosa de los requerimientos asegura coherencia y control sobre el alcance, aporta solidez al desarrollo generando un impacto positivo en el resultado global del proyecto.

De esta manera se puede evidenciar que la línea base de requerimientos no sólo define el camino a seguir, sino que actúa como una herramienta esencial para mantener el rumbo frente a la incertidumbre y el cambio, convirtiéndose en una verdadera estrategia para domar el caos.

**Referencias**

[1]Sommerville, I. (2011). Ingeniería del software (9.ª ed.).

[2]El proceso Unificado de Desarrollo de Software (Jacobson et al., 2000, 464)

[3]https://www.atlassian.com/es/agile/project-management/project-baseline (Rehkopf, n.d.)

[4]https://visuresolutions.com/es/alm-guide/requirements-baseline-and-versioning/ (Visure, n.d.)

[5]Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). Ingeniería del software: Un enfoque práctico (9.ª ed.).

[6]FasterCapital. (s.f.). *Cómo gestionar y aprobar cambios en la línea base de costos de sus proyectos*. FasterCapital. https://fastercapital.com/es/preguntas-emprendedoras/c%C3%B3mo-gestionar-y-aprobar-cambios-en-la-l%C3%ADnea-base-de-costos-de-sus-proyectos.html

[7]Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (s.f.). *Gestión de requisitos – trazabilidad*. https://maaz.ihmc.us/rid%3D1P0MM770H-9JBQ64-4D3/Gesti%C3%B3n%20de%20Requisitos-Trazabilidad.pdf

[8]https://w3.ual.es/~rguirado/posi/Tema5-Apartado5.pdf (*5. Gestión De La Configuración Del Software (GCS)*, n.d.)

[9]Metodología de Estudios de Línea de Base (*5. Gestión De La Configuración Del Software (GCS)*, n.d.)

[10]https://asana.com/es/resources/change-control-process (*¿Qué Es Un Proceso De Control De Cambios? (Incluye Un Ejemplo De Registro De Cambios) [2025]*, n.d.)

[11]https://blog.ganttpro.com/es/linea-base-de-un-proyecto/ (Stepanets, 2023)

[12]https://www.microtool.de/en/knowledge-base/what-is-a-baseline/ (*What Is a Baseline? | Knowledge Base | MicroTOOL*, n.d.)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Iterar para Proteger: Seguridad como Parte del Ciclo de Vida del Software

**Garcia Marcos; Quiroga Matias; Mousist Martin; Giuliano Pucci; Ernesto Ponce**
***Instituto Universitario Aeronáutico, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*Este trabajo analiza la importancia de integrar la seguridad en cada etapa del ciclo de vida del desarrollo de software mediante el modelo Secure SDLC. A partir del crecimiento de amenazas informáticas, se destaca que la seguridad no debe ser una etapa final, sino un proceso continuo desde el diseño hasta el despliegue. Se examinan las fases del Proceso Unificado, identificando prácticas clave como el modelado de amenazas, la codificación segura, las pruebas de penetración y el uso de herramientas automatizadas. Se enfatiza el enfoque DevSecOps como una evolución que incorpora la seguridad en entornos de integración continua. Además, se presenta como caso de éxito a Google Chrome, donde se aplicaron técnicas como sandboxing, fuzzing y programas de recompensas para reforzar la seguridad. El trabajo concluye que el Secure SDLC no sólo mejora la calidad del producto, sino que también forma profesionales más conscientes de los riesgos. Se proponen líneas futuras como estudios comparativos y guías prácticas para su implementación. La adopción temprana de estas prácticas promueve una cultura de prevención frente a las amenazas.*

*Este trabajo es realizado en la cátedra de Procesos y Desarrollo Software I de la carrera Ing. Informática*

**Palabras clave**
Secure SDLC, Seguridad informática, Modelado de amenazas, *DevSecOps*, Desarrollo seguro.

## Introducción

En un contexto donde las amenazas informáticas crecen en complejidad y frecuencia, la necesidad de desarrollar software seguro se ha vuelto un eje prioritario tanto en la industria. Los incidentes de seguridad provocados por vulnerabilidades en el código, como filtraciones de datos o accesos no autorizados, evidencian que la seguridad no puede ser tratada como una etapa posterior al desarrollo, sino como una práctica que debe integrarse desde el comienzo del ciclo de vida del software.

Este trabajo se realiza con el objetivo de analizar el modelo *Secure Software Development Lifecycle (Secure SDLC)*, el cual propone la incorporación sistemática de actividades de seguridad en cada fase del desarrollo de software. La motivación principal surge del interés académico por comprender cómo los marcos de desarrollo actuales están evolucionando para responder a los desafíos de seguridad, y cómo estas prácticas están siendo adoptadas en entornos reales de producción.

Conocer el *Secure SDLC* es relevante hoy más que nunca, ya que permite formar profesionales con una visión integral de la seguridad, alineada con estándares internacionales y buenas prácticas modernas. Desde una perspectiva formativa, este enfoque no sólo mejora la calidad del producto final, sino que también fortalece la cultura de responsabilidad y prevención dentro de los equipos de desarrollo.

Este tema es elegido porque se considera que la seguridad en el desarrollo de software ya no puede seguir siendo un aspecto que se tenga en cuenta al final del proceso. En la actualidad, las personas utilizan aplicaciones para casi todo: estudiar, trabajar, comprar, realizar trámites, y muchas veces no son conscientes de los riesgos que eso puede implicar. Una simple falla en el código puede comprometer datos personales, cuentas bancarias o incluso el funcionamiento de sistemas críticos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Desde la perspectiva de estudiantes, surge la necesidad de comprender cómo construir software que no sólo sea funcional, sino que también proteja a quienes lo utilizan. Por eso, este trabajo se centra en el modelo *Secure SDLC*, que propone integrar la seguridad desde el inicio y en cada etapa del desarrollo.

El interés también radica en que no se trata únicamente de aplicar herramientas o seguir normas, sino de cambiar la forma de pensar el desarrollo, adoptando una mirada más preventiva y comprometida. Se reconoce que muchos problemas de seguridad pueden evitarse si se identifican a tiempo, y eso es precisamente lo que este enfoque busca promover.

**Integración de Seguridad en el Ciclo de Vida del Software**

Uno de los errores más comunes a la hora de desarrollar o diseñar software es dejar la seguridad para el final. Este enfoque quedó obsoleto frente a las amenazas que pueden surgir hoy en día. En la actualidad, es indispensable ser consciente y comenzar a implementar la seguridad desde el principio hasta el final.

Esta forma de trabajo, dividiendo el desarrollo en fases e iteraciones, permite revisar constantemente lo que se está construyendo, y dentro de esta construcción se encuentran la protección del sistema y los datos.

Cuando la seguridad se incorpora en cada etapa, se pueden detectar vulnerabilidades antes de que se conviertan en problemas graves o problemas futuros. Además, realizar esta especie de anticipación reduce el esfuerzo y el costo de corregirlo en un futuro, ya que solucionar fallas en producción suele ser mucho más complejo y caro. Por eso, no se trata sólo de construir software funcional, sino también confiable y resistente frente a posibles ataques.

**Seguridad en cada Fase del Proceso Unificado**

Inicio (primeros pasos y primeros riesgos): durante esta fase se define qué se va a construir y cuáles son los objetivos del sistema. Es un buen momento para empezar a pensar en qué tipo de amenazas o riesgos podrían afectar al proyecto en caso de que surjan en un futuro. Por ejemplo, si el sistema va a manejar datos sensibles o transacciones, es importante dejarlo claro desde el inicio. En esta etapa se pueden identificar qué requisitos serán necesarios para el cliente, y dentro de estos mismos cuáles son los requisitos de seguridad.

Elaboración (diseñar con seguridad en mente): en esta fase se definen las bases del sistema. Es donde se toma la decisión de cómo se va a construir, qué componentes tendrá y cómo van a relacionarse entre sí. Es útil aplicar técnicas como el modelado de amenazas, que permite visualizar posibles puntos débiles desde una mirada técnica y relacionada con los requerimientos críticos.

Construcción (código limpio, código seguro): En esta fase deberían desarrollarse las funcionalidades más simples, ya que algunas de estas están relacionadas con la seguridad. Es recomendable implementar buenas prácticas de programación segura establecidas por *OWASP (Open Web Application Security Project)*. Durante esta etapa se pueden aplicar herramientas que ayudan a detectar errores automáticamente, tanto en el código fuente como en la ejecución del sistema. Estas herramientas permiten encontrar fallos de seguridad incluso antes de que el *software* llegue a producción.

Transición (un despliegue sin sorpresas): por último, la fase de Transición se enfoca en llevar el sistema a producción. Es muy útil realizar *Pentesting* o pruebas de penetración, que simulan ataques reales

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



para comprobar si el sistema está preparado para enfrentarlos. Se pueden contar con ciertas normativas ISO como la ISO 27110 la cual busca facilitar el cumplimiento de los diferentes requisitos de todas las partes implicadas en ciberseguridad.

**Justificación de la Integración entre el Proceso Unificado y Secure SDLC**

La integración del modelo *Secure SDLC* con el Proceso Unificado (UP) no es arbitraria, sino que la propuesta responde a una sinergia natural entre ambos enfoques. Mientras que el Proceso Unificado proporciona una estructura metodológica para el desarrollo iterativo e incremental del software, el modelo *Secure SDLC* introduce una capa de seguridad transversal que puede acoplarse eficazmente en cada una de las fases definidas por UP.

Cada una de estas fases (Inicio, Elaboración, Construcción y Transición) incluye iteraciones y validaciones constantes que favorecen la incorporación gradual de requisitos, cambios y mejoras. Esta característica es clave para la implementación progresiva de controles de seguridad, análisis de riesgos y pruebas específicas, lo cual se alinea directamente con los principios del *Secure SDLC*.

Además, el UP enfatiza la importancia de la gestión de riesgos y la arquitectura robusta desde las etapas tempranas del desarrollo. Esta orientación facilita la aplicación de prácticas como el modelado de amenazas, los casos de abuso y la definición temprana de requisitos no funcionales relacionados con la seguridad (como la autenticación, autorización, trazabilidad o integridad de los datos).

Por otro lado, el enfoque iterativo e incremental del UP permite revisar, ajustar y reforzar las medidas de seguridad a lo largo del tiempo. Esto es especialmente valioso en proyectos dinámicos, donde los riesgos evolucionan al igual que las funcionalidades. Aquí es donde *Secure SDLC* complementa al UP al proponer acciones concretas de seguridad como parte del flujo regular de trabajo: revisiones de código seguro, análisis de vulnerabilidades, pruebas de penetración y validaciones de cumplimiento normativo.

La unión de ambos modelos también contribuye al fortalecimiento de una cultura de prevención dentro del equipo de desarrollo. Mientras el UP guía la organización y seguimiento del proyecto, el *Secure SDLC* garantiza que las decisiones técnicas y de diseño están siempre atravesadas por criterios de seguridad.

En resumen, el Proceso Unificado y *Secure SDLC* se complementan de forma efectiva porque:

- Ambos promueven la planificación y evaluación continua.
- La estructura por fases de UP permite insertar controles de seguridad específicos en cada etapa.
- Favorecen la identificación temprana y el tratamiento preventivo de vulnerabilidades.
- Permiten una trazabilidad clara entre requisitos, diseño, implementación y pruebas de seguridad.
- Facilitan la incorporación de herramientas automatizadas y métricas de seguridad sin romper el flujo de desarrollo.

**Casos de Abuso Pensar como un Atacante**

Una de las herramientas interesantes para poder prevenir problemas de seguridad desde el inicio del proyecto son los casos de abuso. Mientras que un caso de uso demuestra cómo debería funcionar el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistema en interacción con un usuario real, los casos de abuso hacen lo contrario: describen cómo podría intentar dañarlo un atacante. Figura 1.

Por ejemplo, un caso de uso puede ser "Iniciar sesión" donde un usuario iniciará sesión con su mail o nombre y su contraseña, mientras que un caso de abuso sería "Adivinar contraseña" donde un atacante intentará adivinar contraseñas mediante fuerza bruta. Pensar de esta manera ayuda al equipo de desarrollo a anticiparse a posibles amenazas y a tomar decisiones más seguras desde el diseño.

Estos casos de abuso se pueden usar como base para definir requisitos de seguridad y para plantear pruebas específicas que validen la resistencia del sistema ante determinados ataques.

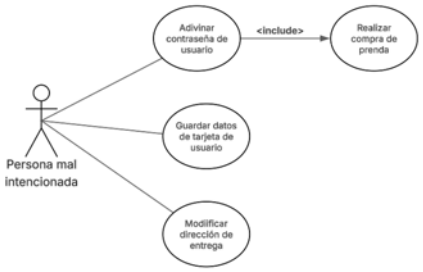



Figura 1: Caso de abuso

**DevSecOps Seguridad que Acompaña cada Iteración**

A medida que el desarrollo de software se vuelve más ágil y automatizado, surge la necesidad de integrar la seguridad de forma continua. Es ahí donde aparece el enfoque DevSecOps, que propone automatizar las tareas de verificación de seguridad dentro del mismo flujo de trabajo del equipo.

Esto significa que cada vez que se hace una entrega o una nueva iteración, se ejecutan herramientas que analizan el código, revisan las dependencias y comprueban si hay vulnerabilidades. Algunas de estas herramientas son *SonarQube* (para revisar código), *OWASP ZAP* (para simular ataques en tiempo de ejecución) o *Trivy* (para analizar contenedores). El objetivo es que la seguridad no sea una tarea extra, sino algo que ya está integrado en el proceso.

**Caso Práctico de Secure SDLC**

Un caso de éxito fue Google Chrome, el cual implementó Secure SDLC durante el desarrollo del navegador. Desde sus inicios, fue implementado con la premisa de proteger a sus usuarios, ya que los navegadores están constantemente expuestos a amenazas de la web.

Durante todo el proceso de desarrollo se implementaron técnicas como *Sandboxing* desde la arquitectura inicial la cual consiste en aislar procesos para limitar el daño que pueda ocasionar una vulnerabilidad. En el caso se realizó el modelado de amenazas o diagrama de casos de abuso para anticiparse a los atacantes. Figura 2. En la etapa de la codificación, utilizaron lenguajes y estilos de programación seguros que permiten restricciones de *C++*.

Se utilizaron herramientas externas como *Clang Memory Sanitizer* y *Address Sanitizer* para encontrar errores en memoria.

Una de las herramientas más importantes, de la cual permite encontrar la mayoría de errores de seguridad, es *Cluster Fuzz*, la cual permite realizar una técnica llamada fuzzing que consiste en probar miles de millones de entradas y variantes para encontrar este tipo de errores.

La seguridad que se aporta desde Google se ve reforzada mediante múltiples actualizaciones y parches de seguridad, los cuales fuerzan al atacante a perder más tiempo intentando aprovecharse de las vulnerabilidades. Un simple cambio de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



versión o lógica en la programación puede hacer que cualquier software malicioso que utilice el atacante deje de funcionar y se vea forzado a buscar una solución.

Lo más importante en este caso, que se trata de un navegador, es el *feedback* que puede proporcionar el usuario. Debido a esto, diseñaron un programa de recompensas de *bugs* (*Google Vulnerability Reward Program*) para incentivar a investigadores externos a encontrar y reportar vulnerabilidades.

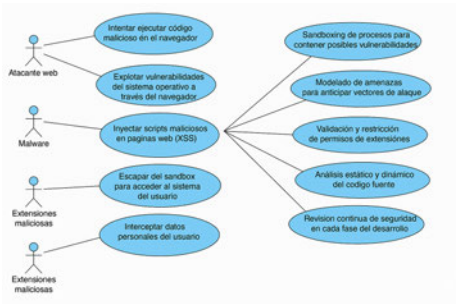



Figura 2: Casos de abuso del caso de Google.

## Conclusión

Este trabajo permite comprender la importancia del modelo Secure SDLC como una respuesta necesaria a las

crecientes demandas de seguridad en el desarrollo de software. A través del análisis de cada una de sus fases y de las herramientas que lo acompañan, se ha evidenciado que la integración de prácticas de seguridad desde las etapas iniciales no sólo mejora la calidad del producto, sino que también reduce costos a largo plazo y minimiza riesgos.

El enfoque *Secure SDLC* cuenta con una estructura clara y aplicable que integra la seguridad como parte esencial del ciclo de desarrollo.

En síntesis, este trabajo pone de manifiesto la necesidad de una visión en el desarrollo de software, donde la seguridad sea considerada desde el inicio como un aspecto transversal y no como un añadido posterior.

**Referencias**

[1] Jacobson, I., Booch, G., & Rumbaugh, J. (1999). *The unified software development process*. Addison-Wesley.

[2] OWASP Foundation. (s.f.). *OWASP Top 10, OWASP ZAP Project*. OWASP. https://owasp.org

[3] Microsoft Threat Modeling – https://learn.microsoft.com

[4] Kim, G., Humble, J., & Willis, J. (2016). *The DevOps Handbook*. IT Revolution.

[5] NIST SP 800-64: *Security Considerations in the System Development Life Cycle* – https://csrc.nist.gov

[6] https://es.scribd.com/document/258467028/Casos-de-Abuso-Casos-de-Uso-Malicioso-Arboles-de-Ataque

[7] NIST. (2008). *SP 800-64 Rev. 2: Security Considerations in the System Development Life Cycle*. https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-64/rev-2/final

[8] McDermott, J., & Fox, C. (2000). Using abuse case models for security requirements analysis. https://doi.org/10.1109/CSAC.1999.816030

**Datos de Contacto:**
*Marcos Garcia. Instituto Universitario Aeronáutico. mgarcia975@alumnos.iua.edu.ar*
*Martin Mousist. Instituto Universitario Aeronáutico. jmousist660@alumnos.iua.edu.ar*
*Ernesto Ponce. Instituto Universitario Aeronáutico. rponce831@alumnos.iua.edu.ar*
*Giuliano Pucci. Instituto Universitario Aeronáutico. gpucci588@alumnos.iua.edu.ar*
*Matías Quiroga. Instituto Universitario Aeronáutico. mquiroga017@alumnos.iua.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Relación Humano-Tecnología, de complemento a necesidad

**Rodrigues Wust, Diego Aleksandro, Reissenveber Brian Sebastián, Romero Daniel Ignacio, Riche Mateo Gabriel, Rey Ignacio Facundo, Rivero Tomás Ezequiel, Re Gianmarco**

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay*

**Abstract**

En este trabajo analizamos y realizamos un relevamiento sobre la dependencia tecnológica. Trabajando en distintos grupos dependiendo de la edad, con especial énfasis en adolescentes y jóvenes. Para ello realizamos encuestas y las distribuimos mediante las redes sociales en donde recopilamos datos sobre el tiempo de exposición a pantallas, los hábitos de consumo digital y la percepción de los participantes acerca del impacto de la tecnología en sus vidas. A partir de los resultados observamos que la mayoría dedica más de cinco horas diarias al uso de dispositivos, principalmente para el entretenimiento, aunque también reconocen beneficios, tales como el acceso a la información y la comunicación. Identificamos, además, efectos negativos como distracciones, pérdida de tiempo productivo y dificultades para descansar. Al comparar nuestras encuestas con datos oficiales de nivel ***nacional***, comprobamos que existe una relación directa entre el aumento del acceso a internet y el crecimiento del tiempo frente a pantallas. Observamos causantes como la pandemia de 2020, un punto de inflexión en la consolidación de estos hábitos, los cuales permanecen hasta la actualidad. Consideramos que este estudio refleja la necesidad de promover un uso equilibrado y consciente de la tecnología en el día a día.

***Palabras Clave***

- ***Modernidad***
- ***Adaptación Biológica***
- ***Evolución***
- ***Salud y bienestar***

## Introducción

El presente trabajo aborda la creciente dependencia tecnológica observada en distintos grupos etarios de la población argentina, con especial atención en niños, adolescentes y adultos jóvenes. Según informes recientes, Argentina se posiciona como el quinto país con mayor promedio de tiempo diario

frente a pantallas, con 9 horas y 38 minutos [1]. Esta exposición sostenida a dispositivos digitales comienza a edades cada vez más tempranas: datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC, 2024) indican que 91 de cada 100 niños de cuatro años o más utilizan teléfonos celulares de manera habitual.

La problemática trasciende las infancias y alcanza a adolescentes y adultos jóvenes, quienes presentan un uso intensivo de dispositivos móviles para actividades de entretenimiento o interacción social, muchas de las cuales no contribuyen de manera significativa a su bienestar físico o emocional. Este fenómeno se intensificó durante la pandemia de 2020, cuando la virtualidad se consolidó como principal medio de comunicación, educación y ocio. Estudios recientes muestran que más del 40% de la población manifiesta sentirse más dependiente o incluso alienada frente al uso continuo de aparatos tecnológicos [2].

Desde una perspectiva ingenieril, comprender estos patrones de comportamiento digital resulta fundamental para el desarrollo de soluciones tecnológicas centradas en el usuario y orientadas al bienestar. En este contexto, el objetivo principal de esta investigación es analizar cómo diferentes grupos de edad incorporan la tecnología en su vida cotidiana, evaluando su impacto en indicadores de bienestar digital. El estudio se sustenta en una metodología cuantitativa basada en encuestas distribuidas mediante redes sociales, herramienta que permite alcanzar una muestra amplia y heterogénea, y obtener datos sobre tiempo de exposición a pantallas, hábitos de consumo de contenido y percepciones personales respecto del uso de la tecnología.

La elección de redes sociales como medio de distribución facilita la obtención de respuestas representativas de los distintos sectores poblacionales. Los resultados de este estudio permitirán identificar tendencias en el uso tecnológico según la edad, y aportar conocimiento útil para futuras investigaciones interdisciplinarias orientadas a promover una relación más saludable y sostenible entre las personas y la tecnología.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Estructura del contenido (Sección por sección)**
Desarrollamos los contenidos en 4 secciones principales.

1. **Realización de encuestas:** Los integrantes del grupo difundimos cuestionarios con preguntas simples acerca del tema, destinadas a ciertos grupos de distintos rangos de edad.
2. **Recopilación de información en base a las encuestas:** Utilizaremos las respuestas tomadas del cuestionario del punto anterior, como base y punto de partida a la parte estadística del trabajo.
3. **Análisis y segmentación de los datos:** Antes de establecer conclusiones, analizaremos las respuestas y se generarán estadísticas en base a ellas.
4. **Conclusiones a las cuales llegamos con la información recopilada y analizada:** Como última instancia, el grupo debatirá con el objetivo de llegar a la conclusión. más objetiva posible.

**Metodología y Desarrollo del Trabajo**

El trabajo se desarrolló siguiendo un enfoque de investigación orientado a la recolección y análisis de datos sobre el uso y la dependencia de dispositivos móviles en distintos grupos. El objetivo fue comprender cómo la tecnología se ha integrado en la vida cotidiana y cómo varía su impacto según la edad.

En grupo evaluamos diversas alternativas para la obtención de información, como encuestas presenciales, análisis de datos estadísticos existentes y encuestas digitales. Finalmente, se decidió implementar encuestas distribuidas a través de redes sociales, dado que este medio permite llegar de forma rápida y eficiente a un público amplio y variado, incluyendo niños, adolescentes y adultos, lo que facilita la obtención de una muestra representativa.

**El cuestionario se estructuró en torno dos ejes principales**

Tiempo diario frente a pantallas: para medir la exposición tecnológica y su variación según la edad.

Consumo de contenido digital: para identificar la necesidad tecnológica y la dependencia de la misma en la vida cotidiana.

**Comparación con datos oficiales**

Durante el proceso de investigación también tomamos en consideración la evolución de los años donde observamos en los cuales la sociedad argentina obtuvo acceso a internet de manera exponencial en un lapso pequeño de tiempo.

El acceso a internet en el año 2011 se presentaba en el 48% de los hogares, mientras que en 2015 se presentaba en el 61,8% de los hogares, un incremento del 28,75%. Si tomamos en consideración el censo realizado en el cuarto trimestre de 2023, podemos observar un aumento del 51,05% con respecto al año 2015 [2], en base a estos datos presentados se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



comprendió que gran parte de la población argentina hoy depende obligatoriamente del acceso a internet.

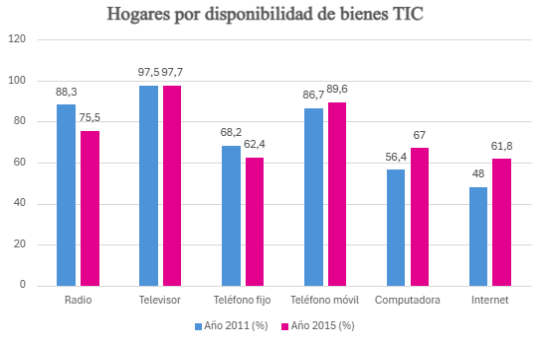



Fig 1. Acceso y Uso de tecnologías (INDEC, [2])

Cómo consideración a los datos presentados anteriormente indagamos cuál fue el impacto que tuvo la crisis sanitaria (COVID-19) en el aspecto tecnológico de nuestras vidas. En consecuencia, tuvimos el desagrado de visualizar una importante crisis tecnológica que se presentó durante este periodo y un aumento en la concientización tecnológica posterior.
Pre Crisis sanitaria según datos de Centro Latam Digital, el 57,1% de los hogares se auto proveía servicios relacionados al acceso tecnológico frente al 72% presentado durante la crisis sanitaria, un aumento del 26,02%.

Los trabajadores presentaron un aumento del 25,72% en el desarrollo de saberes tecnológicos.

Teniendo en consideración estos puntos, presentamos la deducción que la crisis sanitaria puso sobre la mesa una importante cuestión a tratar que tanto la nación como el mundo iba a darse cuenta en un lapso corto de tiempo.
La dependencia tecnológica se presentaba ante un mundo que, debido a su encierro se profundizó en la incorporación de la tecnología como parte de su vida.

**Datos gráficos brindados por el INDEC.**

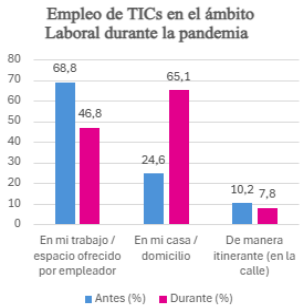



Fig 2. Empleo de TICs en el ámbito Laboral
(CENTRO LATAM DIGITAL, [3])

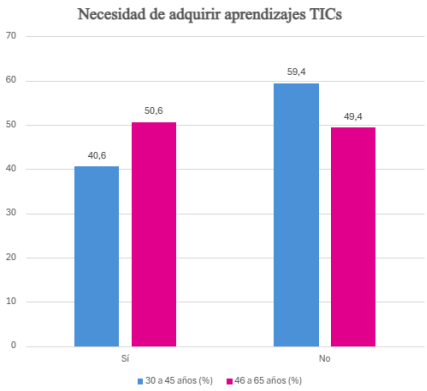



Fig 3. Necesidad de adquirir aprendizajes TICS
(CENTRO LATAM DIGITAL, [3])Estos datos permiten dimensionar la brecha digital en un muy corto periodo de tiempo, la cual se ha expandido gradualmente hasta la llegada de la pandemia, la cual desató un crecimiento exponencial de brecha.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Nuestro grupo, a forma de contraste con estos datos oficiales, busca comparar las estadísticas desde un enfoque más específico y así complementar dichas aproximaciones con datos empíricos obtenidos a base de encuestas propias, con el fin de evaluar estas experiencias personales y compararlas con los datos brindados por el INDEC. [3]

**Percepción del impacto de la tecnología**

Con el fin de conocer cómo los usuarios valoran su propio uso de dispositivos móviles, las preguntas se redactaron combinando opciones cerradas para facilitar el análisis estadístico con algunas preguntas de respuesta breve para obtener opiniones de los usuarios.

En cuanto a los resultados esperados, se prevé que niños y adolescentes dediquen más tiempo al entretenimiento digital, mientras que en adultos exista un equilibrio mayor entre actividades recreativas y laborales.

Una vez recopiladas las respuestas, los datos serán analizados para establecer comparaciones, identificar tendencias y elaborar conclusiones objetivas que puedan servir como base para proponer recomendaciones de un uso saludable de la tecnología.
En base a las respuestas obtenidas en el formulario, el cual fue compartido a distintos grupos de edades.

A continuación, se adjuntan los resultados de las encuestas realizadas; estas encuestas fueron contestadas por adolescentes de entre 16 a 25 años de edad, se obtuvieron un total de 55 respuestas obviando las que carecían de seriedad.

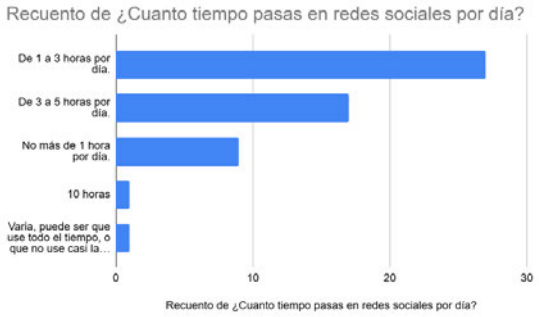



Figura 4 - Datos Recopilados




Figura 5 - Datos Recopilados

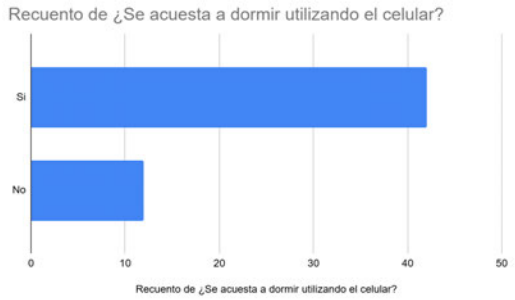



Figura 6 - Datos Recopilados

**Resultados**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Cuando analizamos las encuestas que realizamos, un dato que se destacó fue la cantidad de horas que los jóvenes pasan frente a una pantalla. La gran mayoría de los encuestados, que tenían entre 16 y 25 años, admitieron que pasan más de cinco horas al día usando el celular o la computadora. La mayor parte de ese tiempo está destinada a actividades de ocio, como mirar redes sociales, ver videos en YouTube, usar TikTok o plataformas de streaming.

También notamos algo interesante en la percepción que tienen los encuestados sobre su propio consumo: muchos reconocieron que, aunque disfrutan estar conectados, sienten que la tecnología les roba tiempo de estudio, de descanso o incluso de socializar. Se observa en las encuestas que notan problemas para concentrarse o que les cuesta dejar el celular a un lado antes de dormir. Aun así, otro grupo resaltó el lado positivo: consideran que los dispositivos son esenciales porque les facilitan el acceso a la información y la comunicación, sobre todo cuando se trata de estudiar o mantenerse en contacto con otras personas.

Al momento de comparar los datos obtenidos con los que ofrece el INDEC sobre el acceso a internet en Argentina, encontramos que hay una relación directa. Mientras los informes oficiales muestran que cada vez más hogares cuentan con internet, los resultados reflejan cómo esa expansión se traduce en un uso cada vez más cotidiano de la tecnología. El acceso a internet aumentó, y como consecuencia, el tiempo frente a pantallas también lo hizo. [4]

Un punto clave que apareció en los resultados es la pandemia del 2020. Muchos encuestados contaron que en esa etapa se disparó su uso de la tecnología, tanto para estudiar como para entretenerse. Lo interesante es que ese hábito no desapareció con el fin del confinamiento: quedó instalado y se mantuvo hasta el presente. Esta idea coincide con los informes oficiales que muestran que la pandemia fue un punto de quiebre en la relación que tenemos con la tecnología.

Los resultados muestran una fuerte dependencia digital en los jóvenes: pasan muchas horas frente a dispositivos, reconocen tanto ventajas como problemas derivados de ese uso y, en general, sienten que la tecnología es parte inevitable de su vida diaria.

**Conclusión**

A partir de este estudio pudimos comprender de manera más profunda cómo los adolescentes y jóvenes se relacionan con la tecnología y cómo ésta influye en sus rutinas diarias. Las encuestas respondidas por 55 participantes de entre 16 y 25 años evidencian que la mayoría pasa más de cinco horas diarias frente a pantallas, principalmente con fines recreativos. Si bien reconocen beneficios como el acceso a la información y la comunicación, también identifican efectos negativos vinculados a la distracción, la pérdida de productividad y las dificultades para descansar.

Los resultados confirman que la pandemia de 2020 representó un punto de inflexión en los hábitos digitales: el uso intensivo de dispositivos se consolidó y perdura hasta la actualidad. Este comportamiento refleja una integración estructural de la tecnología

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en la vida cotidiana, más que un fenómeno transitorio.

El análisis comparativo con datos oficiales del INDEC permitió validar nuestros hallazgos, demostrando una correlación entre el aumento del acceso a internet y la expansión del tiempo de exposición a pantallas. Esta coincidencia fortalece la validez del estudio y resalta la importancia de desarrollar herramientas metodológicas y educativas que fomenten un uso equilibrado de la tecnología.

En futuros trabajos, sería pertinente ampliar la muestra a otros rangos etarios niños y adultos mayores e incorporar un tratamiento estadístico más detallado, que permita modelar tendencias y establecer relaciones cuantitativas más precisas. De este modo, se podrá ofrecer una base más sólida para diseñar estrategias de concientización y políticas de bienestar digital con enfoque ingenieril y social.

**Agradecimientos:**
Estimadas familias, reciban un cordial saludo y nuestro más sincero agradecimiento por haber dedicado parte de su tiempo a participar en la encuesta para nuestro proyecto final.
Su colaboración ha sido un pilar fundamental para la realización de este trabajo, ya que la información que nos han brindado es invaluable y enriquece enormemente nuestro análisis y conclusiones.
Cada respuesta constituye una pieza clave para el éxito de esta iniciativa.
Estamos profundamente agradecidos por su apoyo y por confiar en nosotros para compartir sus perspectivas.
Además, un gran agradecimiento hacia la Dra. Cristaldo Patricia, quien fue de gran ayuda para el desarrollo de este proyecto, aportando una gran ayuda a la hora de realizar correcciones y darnos observaciones claves sobre cómo llevar a cabo al mismo.

Atentamente, Grupo Quebec.

**Bibliografía**

[1] El Destape.

https://www.eldestapeweb.com/atr/curiosidades/los-paises-que-pasan-mas-tiempo-en-pantalla-en-el-mundo-que-puesto-ocupa-argentina-en-2024-2024426112220

[2] Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC].

https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/entic_10_15.pdf?utm_source

[3]Centro Latam Digital.

https://centrolatam.digital/wp-content/uploads/2021/11/Desigualdades-digitales-en-tiempos-de-pandemia-en-Argentina-un-estudio-del-acceso-conectividad-y-apropiacio%CC%81n-de-las-TICs-en-el-a%CC%81mbito-laboral.pdf?utm_source[4]Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC].

https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/mautic_05_24F87CFE2258.pdf?utm_source

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Requisitos inteligentes: IA al Servicio de la Ingeniería de Software

**Turina, Tiziano; Maugeri, Gabriel**
***Universidad de la Defensa Nacional - Instituto Universitario Aeronáutico, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*Este trabajo se realiza en la asignatura Procesos de Desarrollo de Software en la carrera de Ingeniería Informática y analiza el impacto de técnicas de inteligencia artificial (IA) durante la fase de Ingeniería de Requerimientos en proyectos de desarrollo de software. A través de una revisión estructurada de la literatura y el análisis de un caso práctico, se identifican herramientas y técnicas de IA para la elicitación, análisis y validación de requerimientos. Se evalúan sus beneficios en términos de eficiencia, calidad y escalabilidad, así como riesgos asociados como sesgos en datos de entrenamiento y retos éticos. Los hallazgos sugieren que la integración híbrida humano-IA maximiza resultados y se proponen prácticas recomendadas para su adopción. Finalmente, se discuten limitaciones del estudio y líneas futuras en IA explicable y gobernanza.*

**Palabras Clave**
Ingeniería de Requerimientos, Inteligencia Artificial, Elicitación Asistida, Análisis Automático, Validación de Requerimientos.

## Introducción

La Ingeniería de Requerimientos es fundamental para el éxito de proyectos de software, pues define qué debe realizar el sistema antes de su diseño o implementación. Sin embargo, retos como la ambigüedad en la comunicación, la alta carga de trabajo manual y el riesgo de omisiones generan costos elevados y retrasos significativos. La Inteligencia Artificial ofrece soluciones capaces de automatizar tareas repetitivas y detectar patrones en grandes volúmenes de datos, lo que podría transformar esta etapa crítica.

El propósito de este trabajo es explorar cómo diversas técnicas de IA (desde procesamiento de lenguaje natural -PLN-, hasta aprendizaje automático) pueden apoyar la elicitación, el análisis y la validación de requerimientos. Se aborda una revisión de herramientas actuales, se comparan estudios empíricos y se plantean recomendaciones para su adopción responsable.

Históricamente, la IA clásica en Ingeniería de Requerimientos se basó en sistemas de reglas expertas y algoritmos de *clustering* simples, adecuados para detectar patrones básicos pero limitados frente a la variedad lingüística de los requerimientos. En contraste, la IA moderna (con redes neuronales profundas y arquitecturas de transformers) permite capturar relaciones semánticas complejas y procesar documentos extensos con mayor precisión. No obstante, estos modelos requieren mayores volúmenes de datos y presentan retos de interpretabilidad.

## Metodología

Para fundamentar este análisis, se llevó a cabo una revisión estructurada de la literatura, orientada a identificar y sintetizar las investigaciones más relevantes sobre la aplicación de Inteligencia Artificial en la Ingeniería de Requerimientos. El proceso se desarrolló siguiendo los pasos que se detallan a continuación.

La búsqueda de artículos se realizó en bases de datos académicas de alta relevancia para la Ingeniería de Software y ciencias de la computación, tales como *IEEE Xplore*, *ACM Digital* y *Google Scholar*. Se utilizó una cadena de búsqueda principal combinando palabras clave con operadores booleanos para maximizar la cobertura y pertinencia de los resultados:

*(“Artificial Intelligence” OR “Machine Learning” OR “Natural Language Processing”) AND (“Requirements Engineering” OR “Requirement Elicitation” OR “Requirement Analysis” OR “Requirements Validation”)*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Los criterios de inclusión utilizados para seleccionar el material fueron:

- Verificar que los artículos publicados tuvieran una fecha aproximada de publicación entre 2018 y 2024, así de este modo, nos aseguramos de que las técnicas de IA modernas sean relevantes.
- Artículos escritos principalmente en inglés o español
- Estudios que presentaran explícitamente una aplicación o estudio de casos del uso de IA en una o más etapas de la Ingeniería de Requerimientos.

Por otra parte, los criterios de exclusión que fueron utilizados para seleccionar el material fueron:
- Artículos que mencionan la IA de manera secundaria sin constituir el núcleo de la investigación.
- Literatura gris, en este caso, tesis no publicadas o reportes técnicos sin revisión por pares.

**Requerimientos e Inteligencia Artificial**

La Ingeniería de Requerimientos constituye la base del éxito en el desarrollo de *software*, ya que a través de ella se capturan y formalizan las necesidades de los *stakeholders*. Este proceso comprende tres actividades interrelacionadas. En primer lugar, la elicitación, que incluye técnicas tradicionales de entrevistas, talleres colaborativos y análisis documental para extraer expectativas y restricciones. A continuación, el análisis y modelado transforma esa información en representaciones estructuradas (como casos de uso, diagramas en Lenguaje Unificado de Modelado -UML- o historias de usuario) que facilitan la comunicación entre desarrolladores y usuarios finales. Durante el análisis, algoritmos de *machine learning* supervisado y no supervisado permiten clasificar automáticamente los requerimientos funcionales y no funcionales, así como agruparlos en categorías temáticas mediante *clustering*. Finalmente, la validación se encarga de asegurar la coherencia, completitud y factibilidad de los requerimientos, mediante revisiones, prototipos o simulaciones. A lo largo de estas etapas, el desafío radica en mitigar ambigüedades del lenguaje natural, gestionar cambios frecuentes de alcance y coordinar visiones a menudo dispares entre perfiles técnicos y de negocio.

El auge de la IA en el ámbito del *software* se fundamenta en su capacidad para procesar y analizar grandes volúmenes de datos textuales. Técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) permiten realizar tokenización avanzada, análisis sintáctico y generación de *embeddings* semánticos que capturan matices contextuales. Por otro lado, los métodos de aprendizaje automático (tanto supervisados como no supervisados) ofrecen mecanismos para clasificar, agrupar y detectar patrones en requerimientos, mientras que las arquitecturas de *transformers*, basadas en mecanismos de atención, han revolucionado la comprensión de textos extensos y complejos. Gracias a estos avances, se pueden automatizar tareas de extracción de información, clasificación de requerimientos funcionales y no funcionales, y detección de inconsistencias con una precisión creciente.

**Trabajos Relacionados**

La literatura reciente ha validado la pertinencia de la IA en la Ingeniería de Requerimientos. Diversos estudios experimentales han explorado el uso de *chatbots* de PLN para guiar las entrevistas con *stakeholders*, demostrando mejoras en la cobertura y consistencia de los datos obtenidos. Asimismo, se han empleado *transformers* para analizar grandes repositorios de requerimientos, facilitando la detección de similitudes y posibles inconsistencias mediante técnicas de *clustering* y clasificación. En el ámbito de la validación, el *framework* Cucumber ha sido ampliamente adoptado para traducir descripciones en lenguaje natural en casos de prueba BDD (Desarrollo Guiado por

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Comportamiento), mejorando la trazabilidad entre requisitos y pruebas automatizadas.

Desde la perspectiva ética, Buolamwini & Gebru (2018) han destacado los riesgos de sesgo en sistemas de visión computacional, señalando la necesidad de auditorías periódicas y de diversidad en los datos de entrenamiento. Estos principios resultan igualmente aplicables al procesamiento automático de requerimientos, donde una muestra sesgada podría derivar en interpretaciones erróneas o en la exclusión de necesidades de ciertos grupos de usuarios.

**Marco Regulatório y Ética**

La adopción de Inteligencia Artificial en la fase de requerimientos no puede entenderse al margen de las normativas y principios éticos que regulan el tratamiento de datos y la transparencia de los sistemas. En este sentido, el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) impone obligaciones de minimización y transparencia, exigiendo que cualquier procesamiento de información personal durante la elicitación y validación de requerimientos sea claramente documentado y sujeto a derechos de acceso y rectificación. Asimismo, la propuesta de la Ley de Inteligencia Artificial de la Unión Europea (AI Act, 2021) clasifica las herramientas de IA en función de su nivel de riesgo, estableciendo requisitos estrictos para los sistemas de alto riesgo que incluyen aquellos empleados en el análisis de datos sensibles y la toma de decisiones críticas. Para alinear una solución de IA con estos marcos regulatorios, es imprescindible realizar una Evaluación de Impacto en Protección de Datos (DPIA) específica para las herramientas de ingeniería de requerimientos, identificando posibles vulnerabilidades y definiendo planes de mitigación. Además, la aplicación de técnicas de IA explicable (XAI), como los métodos basados en LIME o SHAP, facilita a los analistas desentrañar las razones detrás de cada sugerencia automatizada, contribuyendo a la transparencia y a la confianza. La gobernanza de sesgos (tendencia que inclina un estudio de investigación a favor de algo de manera injusta), otro pilar ético, demanda auditorías periódicas que detecten y corrijan desviaciones en los resultados del modelo, mientras que las políticas de conservación y revocación de consentimiento garantizan que los datos de los *stakeholders* se retengan sólo durante el tiempo necesario y bajo los fines explícitos autorizados.

**Integración de IA con Metodologías Ágiles**

La sinergia entre Inteligencia Artificial y metodologías ágiles reside en su capacidad mutua para adaptarse a cambios continuos y fomentar la mejora incremental. Integrar asistentes de IA en un entorno *Scrum*, por ejemplo, implica tratar las tareas de entrenamiento y ajuste del modelo como historias de usuario dentro del *backlog*, de modo que su evolución pueda planificarse y priorizarse al igual que cualquier otro requerimiento. Durante las reuniones diarias, los equipos deben compartir no sólo avances de desarrollo, sino también métricas relevantes del modelo, como su precisión actual o el tiempo de respuesta medio, lo que permite detectar impedimentos asociados a la calidad de los datos o la infraestructura. Las revisiones de *sprint* representan una oportunidad para presentar resultados automatizados (requisitos extraídos, categorías sugeridas o casos de prueba generados) y contrastarlos frente a las aportaciones humanas, recogiendo *feedback* inmediato que retroalimenta al modelo. Finalmente, en las retrospectivas se evalúan indicadores como la proporción de requerimientos validados sin intervención manual, fomentando discusiones sobre cómo optimizar el *pipeline* de datos y los *prompts* utilizados. Este enfoque iterativo garantiza que la IA evolucione de la mano con el proyecto, ajustándose a las prioridades cambiantes y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



consolidándose como un miembro más del equipo ágil.

**Ventajas y Desventajas del Uso de IA en la Etapa de Requerimientos**

La integración de IA en la Ingeniería de Requerimientos trae notables beneficios pero también desafíos que deben contemplarse. Entre las ventajas destaca el incremento en la eficiencia: al automatizar tareas de extracción y clasificación, los equipos pueden dedicar más tiempo a actividades creativas y de diseño estratégico, logrando reducciones en los plazos de definición de requerimientos. Además, la consistencia en la aplicación de reglas de validación disminuye la variabilidad humana y eleva la calidad del conjunto de requerimientos.

No obstante, la adopción de IA conlleva riesgos asociados a la dependencia de datos de entrenamiento. Modelos entrenados con conjuntos sesgados pueden producir errores o prejuicios, lo que obliga a implementar mecanismos de auditoría y reentrenamiento continuo (Buolamwini & Gebru 2018). Asimismo, la comprensión de matices contextuales y culturales sigue siendo limitada en sistemas automáticos, por lo que el monitoreo humano es indispensable para evitar interpretaciones erróneas. Finalmente, la opacidad de ciertos modelos complejos genera inquietudes éticas y legales, especialmente cuando se manejan datos personales de *stakeholders*.

**Aplicación**

Con el objetivo de validar las conclusiones del estudio se entrena un algoritmo (ChatGPT 5o en modo *think for longer*) sobre un *corpus "Software Requirements Dataset"*, del autor Souvik obtenido en kaggle.com. El *corpus* empleado contiene 556 requerimientos etiquetados con prefijos que identifican su naturaleza (F, FR, A, FT, L, LF, MN, O, PE, PO, SC, SE, US, NFR) y presenta una distribución dominada por requisitos funcionales (F = 210) con aportes relevantes de usabilidad (US = 63), operación (O = 58), seguridad (SE = 56) y rendimiento (PE = 54). Para el entrenamiento se aplica un particionado estratificado 70/15/15 resultando en 389 muestras para entrenamiento, 83 para validación y 84 para *test*. La solución técnica combina preprocesado que preservar puntuación y unidades, generación de *embeddings* semánticos por enunciado, un clasificador supervisado sobre *embeddings* y *features* léxicas, reglas léxicas para detección de faltas comunes y un módulo de explicabilidad (SHAP) para sugerir una reescritura.

En pruebas se obtuvieron resultados operativos aproximados que cuantifican la viabilidad práctica del enfoque. Se alcanza una precisión global cercana al 82% y un Macro-F1 (métrica de etiquetas/clases múltiples para evaluaciones de calidad de IA generativa) aproximado de 0.78 en el conjunto de test, las F1 por categoría fueron, de forma aproximada, 0.86 para funcionales, 0.75 para usabilidad, 0.74 para seguridad y 0.72 para rendimiento, reflejando mayor facilidad para clasificar enunciados cuantificados y mayor dificultad en categorías subjetivas. Para garantizar calidad se fijó un umbral de confianza de 0.60, con este umbral se derivó a revisión humana alrededor del 12-18% de los casos, lo que permitió mantener alta precisión operativa sin sobrecargar a los analistas. Las explicaciones generadas fueron consideradas útiles en aproximadamente el 75-85% de las evaluaciones y las reescrituras automáticas fueron aceptadas tal cual o con ediciones menores en una proporción semejante.

La adopción del asistente mostró una reducción aproximada del 25-35% en el tiempo medio requerido para la clarificación de requisitos respecto al flujo manual y una disminución estimada del 12-18% en discrepancias detectadas en revisiones posteriores relacionadas con ambigüedad o falta de métricas. Estas cifras son aproximadas y derivan de la prueba de concepto descrita, su robustez debe

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



confirmarse con un despliegue controlado a mayor escala y con recolección continua de etiquetas para reentrenamiento. En conjunto, los resultados apoyan la idea principal del paper.

**Prácticas Recomendadas**

Para maximizar los beneficios y mitigar los riesgos, se propone un enfoque híbrido en el que las soluciones de IA actúen como asistentes del analista humano. En la selección de herramientas, conviene optar por plataformas con interfaz de programación de aplicaciones (APIs) abiertas y comunidades activas que aseguren actualizaciones constantes. El ciclo de vida del modelo debe incluir fases de validación periódica y entrenamiento incremental con datos de proyectos reales, para reflejar cambios en el dominio.

La capacitación de los equipos y la definición clara de roles son esenciales: los analistas deben aprender a interpretar los resultados generados por IA, validar las sugerencias y aportar contextos de dominio. Del mismo modo, es fundamental establecer políticas éticas que garanticen la transparencia de los procesos automatizados y el cumplimiento de normativas de privacidad, como GDPR. De esta manera, se fomenta la confianza en la adopción de IA y se promueve un uso responsable de la tecnología.

**Conclusiones y Trabajos Futuros**

Este estudio ha mostrado cómo la IA puede potenciar la fase de requerimientos al automatizar la elicitación, mejorar el análisis de grandes volúmenes de datos y facilitar la validación temprana. La integración híbrida humano-IA surge como estrategia óptima para equilibrar eficiencia y comprensión contextual, mitigando sesgos y limitaciones de los modelos. No obstante, persisten desafíos relacionados con la calidad de los datos de entrenamiento y la interpretabilidad de modelos complejos.

Como línea de trabajo futuro, es fundamental avanzar en dos direcciones. Primero, en el desarrollo de técnicas de IA Explicable (XAI) adaptadas al dominio de la Ingeniería de Requerimientos, que permitan a los analistas no expertos comprender y confiar en las sugerencias de los modelos. Segundo, y en línea con la prueba de concepto presentada, el siguiente paso natural consiste en validar el enfoque a mayor escala, implementando un proceso de recolección continua de etiquetas que permita el reentrenamiento y la mejora del modelo, asegurando así su robustez y adaptabilidad en entornos de producción reales.

**Referencias**

[1] I. Sommerville, Software Engineering, 10th ed. Pearson, 2015.
[2] G. Kotonya and I. Sommerville, Requirements Engineering: Processes and Techniques. Wiley, 1998.
[3] A. Vaswani et al., “Attention Is All You Need,” in Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017), 2017, pp. 5998-6008.
[4] J. Buolamwini and T. Gebru, "Gender Shades: Intersectional Accuracy Disparities in Commercial Gender Classification," in Proceedings of Machine Learning Research, vol. 81, 2018, pp. 1-15.
[5] M. T. Ribeiro, S. Singh, and C. Guestrin, "Why Should I Trust You?: Explaining the Predictions of Any Classifier," in Proc. 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016, pp. 1135-1144.
[6] S. M. Lundberg and S.-I. Lee, "A Unified Approach to Interpreting Model Predictions," in Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017), 2017, pp. 4765-4774.
[7]D. Holmes, "Cucumber: Behaviour Driven Development for Test Automation," presented at the BETT 2018, London, UK, Jan. 2018.
[8] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, "Reglamento (UE) 2016/679 relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos (GDPR)," Diario Oficial de la Unión Europea, L 119/1, 27 de abril de 2016.
[9] Comisión Europea, "Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial (Ley de Inteligencia Artificial)," Bruselas, Bélgica, COM(2021) 206 final, Abr. 2021.

**Datos de Contacto:**

*Tiziano Turina. Universidad de la Defensa Nacional. Villa Carlos Paz, Córdoba. tturina571@alumnos.iua.edu.ar.*
*Gabriel Maugeri. Universidad de la Defensa Nacional. Villa Carlos Paz, Córdoba. gmaugeri755@alumnos.iua.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Entre la Estabilidad y la Incertidumbre: Estrategias para la Gestión de Cambios en Requerimientos de Software

**Ruiz Notari Leonel, Bubica Mirko, Bulatovich Juan Cruz**
***Universidad de la Defensa Nacional - Instituto Universitario Aeronáutico, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*Este trabajo se desarrolla en el marco de la materia Procesos de Desarrollo de Software I de la carrera Ingeniería en Informática. El mismo aborda el desafío de gestionar los cambios en los requerimientos de software, una problemática frecuente en los procesos de desarrollo que puede impactar seriamente en los tiempos, costos y calidad del producto. Se analizan las principales causas que generan estos cambios, tales como el descubrimiento progresivo del dominio, la evolución del negocio y la comunicación deficiente con los actores del proyecto. Se presenta Use Case 2.0 como una herramienta moderna y flexible que permite modelar requerimientos de manera iterativa, mejorando su trazabilidad y adaptabilidad. Además, se discuten técnicas de gestión como el análisis de impacto, control de versiones, trazabilidad de requerimientos y re-priorización continúa, proponiendo un enfoque práctico adaptable a distintas metodologías de desarrollo ágil y tradicional. Adicionalmente, se explora el uso de inteligencias artificiales para la detección de ambigüedades en los requerimientos y se presenta un caso práctico donde se pone a prueba una aplicación generada con IA.*

**Palabras clave**
Cambios de requerimientos, Ingeniería de requerimientos, *Use Case 2.0*, *Scrum*, Trazabilidad, *Software* adaptable

## Introducción

En el desarrollo de *software*, los requerimientos representan la base sobre la cual se diseña, implementa y prueba un sistema. Sin embargo, estos no siempre son estables: los cambios en el entorno del negocio, la retroalimentación de los usuarios y los avances tecnológicos provocan ajustes durante el ciclo de vida del *software*. Si no se gestionan adecuadamente, estos cambios pueden derivar en sobrecostos, retrabajo y fallas de calidad.

En un contexto donde la adaptabilidad es clave, la capacidad de una organización para gestionar el cambio en los requerimientos se vuelve esencial. A lo largo de los años, se han desarrollado diversas metodologías y herramientas para mejorar este aspecto, pero la gestión efectiva sigue siendo un desafío.

Este trabajo tiene como objetivo analizar las razones comunes de los cambios en los requerimientos y presentar buenas prácticas para su gestión efectiva. Se pone énfasis en el uso de *Use Case 2.0* [1] , una evolución del enfoque tradicional de casos de uso, que aporta mecanismos para gestionar la incertidumbre de manera iterativa y colaborativa. También se revisan las prácticas del desarrollo ágil, con foco en *Scrum*, como marco de referencia que favorece el manejo flexible de los cambios.

## Cambios en los Requerimientos

Los cambios en los requerimientos pueden surgir por diversas razones: mala definición inicial, cambios en los objetivos del negocio, descubrimiento de nuevas necesidades o *feedback* del cliente. Una de las claves para manejarlos es entender que el cambio no es una falla, sino una característica natural del desarrollo de *software*.

La Ingeniería de Requerimiento tradicional se basa en la idea de especificar lo más completamente posible los requerimientos antes de comenzar el desarrollo. Sin embargo, esta práctica suele fallar frente a entornos cambiantes. Por ello, se han adoptado enfoques iterativos e incrementales, como el desarrollo ágil, que aceptan el cambio como una constante y lo incorporan al proceso de desarrollo.

En marcos como *Scrum*, los requerimientos se representan como elementos del *Product Backlog*, que se priorizan, refinan y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



redefinen de forma continua. Cada *Sprint* permite revisar y ajustar las funcionalidades deseadas, lo que reduce el impacto negativo de cambios tardíos.

Por su parte, *Use Case 2.0* ofrece una estructura modular mediante *use case slices* (rebanadas de caso de uso) que permiten trabajar de forma incremental, facilitando la trazabilidad de requerimientos desde su concepción hasta su implementación. Esta forma de trabajar favorece la integración con otros artefactos del sistema y permite evaluar el impacto de los cambios con mayor claridad.

Las prácticas comunes para gestionar el cambio incluyen:

- Análisis de impacto: permite evaluar los efectos técnicos y funcionales de un cambio antes de implementarlo.
- Control de versiones: gestiona distintas versiones de los requerimientos y su evolución a lo largo del proyecto.
- Trazabilidad bidireccional: asegura que cada requerimiento esté vinculado con los elementos del diseño, código y pruebas.
- Re-priorización: basada en valor de negocio, riesgo y esfuerzo técnico.
- Gestores de requerimientos: herramientas como *Jira, IBM DOORS* o *RequisitePro* permiten organizar, versionar y analizar los requerimientos de manera estructurada.

El éxito en la gestión de cambios requiere también una comunicación fluida con los actores del proyecto y la participación activa del equipo de desarrollo, clientes y usuarios finales.

Uno de los mayores riesgos en la gestión de requerimientos es la ambigüedad persistente: aquellas ambigüedades que no son detectadas ni discutidas durante el proceso de ingeniería de requerimientos, pero que se trasladan a las etapas posteriores del desarrollo de *software*. Ribeiro y Berry (2020) denominan a estas situaciones Ambigüedades Persistentes (AP), y advierten que incluso en proyectos bien estructurados, con procesos rigurosos de validación, estas ambigüedades pueden pasar desapercibidas.
Estas ambigüedades suelen ser difíciles de identificar porque se producen de manera subconsciente tanto al redactar como al interpretar los requerimientos. Los autores distinguen entre:

- Ambiguación subconsciente (AS): el redactor no es consciente de que su requerimiento puede interpretarse de múltiples formas.
- Desambiguación subconsciente (DS): El lector interpreta el requerimiento automáticamente según su propio contexto, sin cuestionar otras posibles interpretaciones.

Las AP más comunes identificadas incluyen: la ambigüedad de modificadores, como el uso de “solo” o “también” mal posicionado, además de la ambigüedad referencial, que se origina por el uso de pronombres o demostrativos como “esto” o “ese” sin un referente claro. Asimismo, se presenta la ambigüedad elíptica, que surge de omisiones en frases que permiten interpretaciones múltiples, y la ambigüedad en condicionales, observable en expresiones como “si es así” cuando no se aclara a qué condición se refieren. Finalmente, se encuentra la ambigüedad de pluralidad, la cual ocurre cuando no queda claro si un elemento se aplica a todos o a cada uno por separado.

La ambigüedad persistente complica la gestión de requerimientos ya que retrasa la deteccion de errores, aumenta el riesgo de malinterpretaciones y dificulta el análisis de impacto de los cambios.

Frente a esto, los autores recomiendan realizar revisiones cruzadas con miembros ajenos al dominio, hacer uso de herramientas de análisis semántico y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



brindar capacitaciones al equipo para identificar y reformular frases ambiguas.

Sin embargo, la complejidad y el volumen creciente de los requerimientos de *software* hacen que la detección manual de estas ambigüedades persistentes sea una tarea ardua y propensa a errores. Es aquí donde se propone la inteligencia artificial (IA) [9], y en particular el procesamiento de lenguaje natural (PLN) [6] [10], ya que ofrecen herramientas para automatizar y mejorar esta detección. Los modelos avanzados de lenguaje pueden analizar el texto de requerimientos para identificar patrones lingüísticos, inconsistencias semánticas y estructuras que típicamente preceden a una ambigüedad.

La IA ha demostrado tener gran potencial en la identificación de ambigüedades dentro de las especificaciones de requerimientos. Los modelos avanzados de lenguaje, como el Modelo de Lenguaje a Gran Escala (LLM) [7], tiene la capacidad de analizar textos extensos y complejos, detectando patrones lingüísticos y semánticos que podrían pasar desapercibidos para los humanos. Este análisis se realiza a través de diversas técnicas.

En primer lugar, los modelos de PLN realizan un análisis sintáctico y semántico exhaustivo. Esta comprensión profunda del lenguaje permite a la IA identificar construcciones gramaticales ambiguas, como modificadores mal ubicados que alteran el significado de las oraciones, o elipsis donde la falta de elementos puede llevar a múltiples interpretaciones. Además, la IA puede detectar la ambigüedad de la pluralidad, donde no está claro si una afirmación se aplica a todos los elementos de un conjunto o a cada elemento individualmente.

En segundo lugar, la IA también es capaz de realizar un análisis referencial avanzado. Al identificar la ambigüedad referencial, la IA puede señalar casos donde un pronombre podría referirse a múltiples entidades, lo que genera confusión en la interpretación del requerimiento.

En tercer lugar, y quizás lo más relevante, los LLM pueden aprovechar su vasta comprensión contextual para analizar los requerimientos en su totalidad. Al comprender el contexto general y compararlo con los patrones de lenguaje típicos en las especificaciones de *software*, estos modelos pueden identificar afirmaciones vagas o imprecisas, incluso si son gramaticalmente correctas. Esto es particularmente útil para detectar la ambigüedad subconsciente, donde el autor del requerimiento no se da cuenta de que existen múltiples interpretaciones posibles.

Además de estas técnicas específicas, la IA también puede aprender de grandes volúmenes de datos, es decir, de muchos requerimientos previamente analizados. Al analizar estos datos, la IA puede identificar patrones de inconsistencia que suelen preceder a las ambigüedades, incluso si estos patrones no son evidentes para los humanos.

La utilización de la IA para detectar ambigüedades en los requerimientos ofrece diversos beneficios significativos. En primer lugar, automatiza el proceso de revisión, ahorrando tiempo y esfuerzo en comparación con la revisión manual. Sin embargo, aunque se aplique la automatización, la presencia humana sigue siendo requerida en la revisión del trabajo para asegurar que este sea correcto. En segundo lugar, la IA aplica criterios de detección uniformes, lo que asegura consistencia y reduce la variabilidad humana en la detección de ambigüedades. En tercer lugar, la IA permite la detección temprana de ambigüedades, para reducir el retrabajo y los costos en etapas posteriores del desarrollo.

**Desafíos, Limitaciones y Consideraciones Éticas de la IA en Requerimientos**

Si bien la Inteligencia Artificial (IA) ofrece aportes significativos en los requerimientos, su aplicación enfrenta desafíos técnicos, riesgos de sesgo y dilemas éticos que requieren un abordaje crítico.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Retos Técnicos**
Los modelos de lenguaje (LLM) presentan una barrera de ambigüedad inherente. Aunque pueden detectar y proponer correcciones, suelen generar aclaraciones irrelevantes o inconsistentes debido a la ausencia de metacognición: no comprenden el lenguaje, sino que operan por coincidencia estadística de patrones. Por ello, la reparación automática de ambigüedades exige enfoques alternativos que dividen el problema en subcomponentes más manejables. Esto evidencia que la IA es útil, pero limitada, especialmente en dominios críticos como la Ingeniería de *Software*.

**Sesgos en la Inteligencia Artificial**
Los sesgos son atajos mentales que utiliza el cerebro para procesar información de manera rápida y eficiente. Son una forma de simplificar el mundo y tomar decisiones sin tener que analizar cada detalle en profundidad. Aunque a menudo son útiles, los sesgos también pueden llevarnos a conclusiones ilógicas o erróneas. [8] [11]

La IA, usada para reducir ambigüedades y sesgos humanos, puede reproducirlos y amplificarlos. Los principales orígenes son:

- Sesgo de datos: conjuntos de entrenamiento poco representativos.
- Sesgo algorítmico: amplificación de distorsiones por el propio diseño del modelo.
- Prejuicios humanos: sesgos incorporados involuntariamente por desarrolladores, anotadores o usuarios.

Estos riesgos obligan a la Ingeniería de Requerimientos a incorporar mecanismos que aseguren imparcialidad, con supervisión y auditorías constantes.

**Consideraciones Éticas**
La falta de transparencia de muchos sistemas que funcionan como cajas negras plantea problemas de responsabilidad en procesos críticos. Además, el sesgo de automatización puede llevar a aceptar sus resultados sin cuestionarlos. Para contrarrestar estos riesgos, se proponen tres ejes:

1. **Auditorías Algorítmicas** periódicas.
2. **Inteligencia Artificial Explicable** para entender el comportamiento de los modelos.
3. **Gobernanza Ética** mediante marcos normativos que guíen un uso responsable.

**Caso de aplicación: *Requirements Clarifier App (RCA)***
Se presenta un caso de uso simple: *Requirements Clarifier App*, diseñado para ayudar a los equipos de desarrollo a identificar y resolver ambigüedades en sus requerimientos de *software* utilizando la *API* de *Gemini*.

Escenario propuesto en el caso: Un equipo está especificando los requerimientos para un nuevo módulo de "gestión de inventario" en un sistema de planificación de recursos empresariales.

Problema: Los analistas de requerimientos redactan las funcionalidades en lenguaje natural, y existe el riesgo de que se introduzcan ambigüedades que pasen desapercibidas hasta etapas avanzadas del desarrollo. Por ejemplo, un requerimiento podría estar enunciado de la siguiente forma: “El sistema debe permitir que los usuarios modifiquen los detalles de los productos”. La ambigüedad aquí es: “los usuarios” ¿se refiere a todos los usuarios o solo a los administradores? "los detalles" ¿incluyen todos los datos de los productos o sólo algunos?

Propuesta de Solución (*Requirements Clarifier App*):

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Interfaz de Usuario: Una aplicación con un área de texto donde el usuario puede escribir sus requerimientos. Un botón analizar requerimientos y un área de visualización de los resultados. Figura 1.

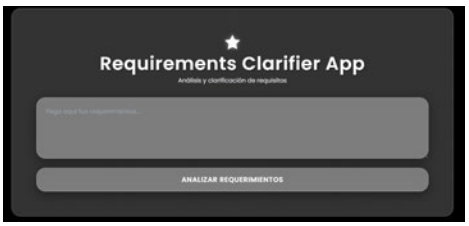



Figura 1: Interfaz de *Requirements Clarifier App*

Cuando el usuario hace clic en analizar requerimientos, el texto del área de entrada se utiliza para generar un prompt que es enviado a la *API* de *Gemini*, solicitando que actúe como un experto en ingeniería de requerimientos y que identifique cualquier ambigüedad en el texto proporcionado, generando una respuesta estructurada que contiene las ambigüedades detectadas, su tipo, una explicación y sugerencias de clarificación.

Visualización de Resultados: La aplicación recibe la respuesta desde Gemini. Si se detectan ambigüedades, el usuario se beneficia inmediatamente al identificarlas resaltadas de forma clara en el texto original, junto con sugerencias de clarificación. Esto le permite al usuario corregir los requerimientos de manera proactiva, evitando costosos errores de interpretación en etapas posteriores del desarrollo y garantizando que el equipo construya exactamente lo que se necesita.
En el caso de que Gemini determine que el requerimiento está bien redactado y no contiene ambigüedades, el usuario recibe un mensaje de confirmación de confianza en la calidad de su trabajo. Esta funcionalidad acelera el flujo de trabajo y pone en evidencia cómo la precisión en los requerimientos se traduce directamente en un desarrollo más preciso y de mayor calidad. Figura 2.

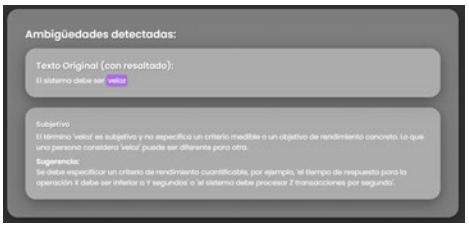



Figura 2: Visualización de resultados.

**Trabajos Relacionados**

Diversos estudios han abordado la problemática de los cambios en los requerimientos. El autor Ian Sommerville enfatiza que los requerimientos son inherentemente cambiantes, y destaca la importancia de la validación y verificación continua para mitigar los efectos adversos. [2]

Dalila García Notario realiza un análisis detallado de los tipos de requerimientos, su clasificación y validación. Su enfoque refuerza la necesidad de documentar correctamente y mantener la trazabilidad como estrategia clave frente al cambio. [3]

Hussain et al. analizan en su estudio cómo en entornos distribuidos se gestionan informalmente los cambios en los requerimientos, cuando no es viable rechazar solicitudes de cambio. Proponen un modelo híbrido que combina control formal e informal, evidenciando la necesidad de adaptabilidad según el contexto del proyecto. [4]

Ribeiro y Berry introducen una dimensión novedosa al identificar la ambigüedad persistente como una fuente silenciosa de errores. Su investigación complementa los enfoques clásicos y resalta la importancia de entrenar equipos en habilidades lingüísticas, no solo técnicas. [5]

Estos trabajos coinciden en que, más allá de la metodología adoptada, la cultura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



organizacional y la madurez del equipo tienen un rol decisivo en el éxito de la gestión de cambios.

**Conclusión**

La gestión de cambios en los requerimientos es un desafío constante en el desarrollo de *software*. Este trabajo destaca la importancia de metodologías como *Scrum* y herramientas como *Use Case 2.0*, que promueven la adaptabilidad y una gestión estructurada del cambio.

Este trabajo se enfocó en cómo la ambigüedad persistente puede afectar la calidad del producto, proponiendo para mitigar este problema la integración de la inteligencia artificial (IA) y el procesamiento del lenguaje natural (PLN) como herramientas capaces de automatizar y mejorar la detección de inconsistencias.

El éxito en la gestión de requerimientos reside en una combinación de factores. Las herramientas y metodologías modernas proporcionan un marco sólido, mientras que la IA ofrece una mejora en la eficiencia a la hora de especificar requerimientos. No obstante, una cultura de equipo madura, una supervisión humana continua y un uso ético de la tecnología siguen siendo elementos esenciales para garantizar el éxito del proyecto.

**Referencias**

[1] Jacobson, I., Spence, I., & Bittner, K. (2013). "Casos de uso 2.0: La guía definitiva". Ivar Jacobson International SA.
[2] Sommerville, I. (2016). "Ingeniería de Software". 10ma edición. Pearson.
[3] García Notario, D. (2016). "Análisis de requerimientos en el desarrollo de software". Universidad Carlos III de Madrid.
[4] Hussain, W. et al. (2021). "*Managing Requirements Change the Informal Way*", arXiv preprint arXiv:2104.00843.
[5] Ribeiro, D., & Berry, D. M. (2020). "*The prevalence and severity of persistent ambiguity in software requirements specifications.*" *Science of Computer Programming,* 197, 102487. https://doi.org/10.1016/j.scico.2020.102487
[6] Astera. (s.f.). *NLP vs. LLM*. Obtenido de https://www.astera.com/es/type/blog/nlp-vs-llm/
[7] AWS. (s.f.). *¿Qué es un LLM (modelo de lenguaje de gran tamaño)?* Obtenido de https://aws.amazon.com/es/what-is/large-language-model/
[8] Hirint. (s.f.). *Utilizando la IA para reducir los sesgos de selección*. Obtenido de https://hirint.io/utilizando-la-ia-para-reducir-los-sesgos-de-seleccion/
[9] IBM. (s.f.). *IA en el desarrollo de software*. Obtenido de https://www.ibm.com/es-es/think/topics/ai-in-software-development
[10] IBM. (s.f.). *Natural Language Processing*. Obtenido de https://www.ibm.com/es-es/think/topics/natural-language-processing
[11] UDIT. (s.f.). *El reto de una Inteligencia Artificial justa*. Obtenido de https://www.udit.es/el-reto-de-una-inteligencia-artificial-justa-siete-sesgos-que-hay-que-evitar/

**Datos de Contacto:**

*Leonel Ruiz Notari. Universidad de la Defensa Nacional. Córdoba Capital.* *cruiz939@alumnos.iua.edu.ar*

*Juan Cruz Bulatovich. Universidad de la Defensa Nacional. Villa Carlos Paz, Córdoba.* *jbulatovich468@alumnos.iua.edu.ar*

*Mirko Bubica. Universidad de la Defensa Nacional. Villa Carlos Paz, Córdoba.* *mbubica509@alumnos.iua.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# MACHINE LEARNING Y SU VINCULACIÓN CON AG
# Navegación en el Río Paraná: Optimización de Cruces hacia la Isla 'La Invernada'

**Casañas, Juan Pedro**
**Ochoa, María Sofía**
**Quagliardi, Martín**
**Regodesebes, Mateo**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Rosario***

**Abstract**
*En este trabajo analizamos la navegación del Río Paraná utilizando técnicas de Machine Learning integradas con Algoritmos Genéticos. Se busca resolver la problemática de encontrar la mejor ruta posible desde la costa rosarina hacia la isla "La Invernada" utilizando como medio de movilidad un kayak. Aplicando estos recursos, buscamos la ruta que permita llegar hacia nuestro destino en el menor tiempo posible.*

**Palabras Clave**
Algoritmos Genéticos, Machine Learning, modelo, métodos numéricos, Río Paraná, navegación.

## Introducción

A la hora de cruzar el río, una de las preguntas que frecuentemente se realizan es "¿Cuál será el mejor camino para las condiciones de hoy?" o incluso "¿Cuánto me demoraré si sigo este camino?". La idea de este trabajo es responder a esas dos dudas a través del uso de un modelo de machine learning que, dada ciertas condiciones, permita predecir tiempos de cruce en kayak aplicado a un algoritmo genético que busca el camino más óptimo.

Las condiciones que tomamos como dadas son:

- La velocidad del viento (preferentemente en km/h).
- El ángulo del movimiento con respecto a la dirección del viento.
- La distancia en metros.

Se da por asumido que el vehículo utilizado será un kayak dado a que es el vehículo que se tuvo a disposición para recabar los datos de los cuales se alimentará el modelo de Machine Learning.

**Contexto Geográfico**

El río Paraná es uno de los cursos de agua más importantes de América del Sur, siendo el segundo más largo del continente después del Amazonas. Su extensión y caudal lo convierten en un recurso estratégico tanto para la navegación comercial como para el transporte recreativo y logístico. [5]

La región particular de interés para este trabajo de investigación es el tramo que comprende la ciudad de Rosario: se encuentra en un tramo medio del río Paraná, situado aproximadamente entre los kilómetros 413,3 y 420,3 de su curso, en la margen occidental. Este tramo, con una importante actividad portuaria y un extenso complejo industrial, se caracteriza por su conexión con el área del Gran Rosario y por la presencia de los arroyos Ludueña y Saladillo, que marcan sus límites norte y sur. [6]

Las condiciones de navegación del Paraná están sujetas a variaciones dinámicas asociadas a factores hidrometeorológicos, tales como el nivel del río, la velocidad y dirección del viento, e incluso la presencia de corrientes transversales. Estas variables,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



junto con el tráfico fluvial y las características propias de las embarcaciones, constituyen desafíos relevantes para la planificación de cruces seguros y eficientes.

Debido a estas variables, los cruces repiten un patrón en su camino: se remonta una cantidad de metros hacia el norte en la costa de Rosario quedando al Noroeste del punto de destino, y luego se cruza en línea recta apuntando hacia la isla; si la distancia remontada es exacta, la corriente hace el trabajo de derivarnos hacia el sur y por ende nuestra línea terminará convergiendo con el punto de destino.

**Machine Learning**

Machine Learning se define como la técnica que mejora la efectividad de los sistemas a la hora de tomar decisiones a través del aprendizaje por experiencia mediante métodos computacionales. [9]

En los sistemas computacionales la experiencia puede ser vista como datos, y el principal enfoque del machine learning es desarrollar algoritmos de aprendizaje para construir modelos a partir de los datos. Al alimentar los modelos de aprendizaje con datos de experiencia, obtenemos un modelo que puede realizar predicciones en base a nuevas observaciones.

**Tipos de modelos de Machine Learning**

Reiterando la idea, los algoritmos de Machine Learning procesan grandes cantidades de datos históricos para identificar patrones de datos mediante inferencia. Los modelos de machine learning se dividen principalmente en tres categorías: *aprendizaje supervisado*, *no supervisado* y *por refuerzo*, cada uno con sus propios algoritmos y aplicaciones. [7] [8]

- **Aprendizaje supervisado**: Los algoritmos de aprendizaje supervisado se entrenan con datos de muestra "etiquetados" que especifican tanto la entrada como la salida del algoritmo.
- **Aprendizaje no supervisado**: los algoritmos de aprendizaje no supervisado se entrenan con datos sin etiquetar. La idea es que los algoritmos encuentren patrones en datos sin etiquetar que permitan predecir características sobre datos que compartan aquellos patrones.
- **Aprendizaje por refuerzo**: en este caso, el modelo aprende a través de la interacción con un entorno dinámico. Su comportamiento se ajusta en función de un sistema de recompensas y penalizaciones, lo que le permite optimizar sus decisiones a lo largo del tiempo.

En el marco de este trabajo, optamos por emplear un modelo de **aprendizaje supervisado**. La elección se fundamenta en que es posible disponer de datos empíricos que relacionan directamente las condiciones de un día específico, como la velocidad del viento, el ángulo de desplazamiento y la distancia recorrida, con el tiempo real de cruce en kayak. Al contar con estas mediciones, el modelo puede entrenarse con ejemplos concretos de entradas y salidas conocidas, lo que le permite generalizar y realizar predicciones confiables para nuevas situaciones que presenten condiciones similares.

Al momento de seleccionar un modelo de *Machine Learning* con el mejor desempeño para la estimación del tiempo de cruce, se consideraron distintas alternativas que representan diversas familias de técnicas de regresión. Entre ellas se incluyeron *Linear*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Regression, Lasso, Elastic Net, Ridge, K-Nearest Neighbors* (KNN), *Decision Tree y Support Vector Regression* (SVR). Cada uno de estos métodos presenta ventajas y limitaciones particulares: por ejemplo, las regresiones lineales permiten interpretar fácilmente las relaciones entre variables, mientras que técnicas como *Lasso* o *Elastic Net* incorporan regularización para controlar el sobreajuste. Por otro lado, modelos no lineales como KNN, árboles de decisión o máquinas de soporte vectorial resultan útiles cuando la relación entre variables es más compleja y no puede describirse adecuadamente mediante funciones lineales simples. [3]

Con el objetivo de determinar cuál de estas alternativas se adapta mejor al problema, se implementó un proceso de validación que permitió evaluar su desempeño comparativo. Si bien los resultados mostraron que varios métodos ofrecían predicciones razonables, en este trabajo se seleccionó el método ***Lasso***.

**Algoritmos Genéticos**

Un algoritmo genético es una técnica de búsqueda basada en la teoría de evolución de Darwin. Esta técnica intenta imitar los mecanismos de selección natural, de acuerdo a los cuáles los individuos más aptos de una población son los que sobreviven, pues son capaces de adaptarse más fácilmente a los cambios que se producen en su entorno. [2]

Para plantear un algoritmo genético necesitamos definir una población inicial, formada por *cromosomas* que representan un valor numérico relacionado a una función objetivo. Este valor numérico, al descomponerse en binario, nos permite identificar cada dígito como un *gen* que podrá mutar o intercambiarse respectivamente con el de otro cromosoma si tiene suficiente *fitness*.

En resumen, el algoritmo genético selecciona los cromosomas más aptos para sobrevivir, es aquí donde toma importancia su valor de *fitness* ya que nos permite saber qué tan cerca está del mejor resultado posible. Luego se realizan técnicas de entrecruzamiento de varias parejas de cromosomas y, por último, se determina si alguno de estos cromosomas va a sufrir una mutación en uno de sus genes.

Como resultado de este proceso, se obtiene una nueva población de cromosomas con una aptitud superior, más cercana al valor óptimo de la función objetivo. Dicho mecanismo se repite generación tras generación, permitiendo que la población evolucione progresivamente hacia soluciones cada vez más adaptadas al problema.

**Desarrollo**

En forma general, para el desarrollo de este trabajo se empleó el lenguaje de programación **Python**, que trae consigo una amplia variedad de módulos y bibliotecas que resultan especialmente adecuadas tanto para la implementación del modelo de *Machine Learning* como para el diseño del *Algoritmo Genético*. Asimismo, su ecosistema facilitó la construcción de estructuras de datos que permitieron un encapsulamiento adecuado y una organización clara del código, favoreciendo la modularidad y la extensibilidad del sistema.

La estrategia adoptada para la resolución de este problema se basó en una integración entre *Machine Learning* y *Algoritmos Genéticos*, otorgando a cada técnica un rol específico dentro de la solución. Mientras

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que el *Machine Learning* tuvo como responsabilidad principal la **estimación de los tiempos de cruce** en función de las condiciones observadas, los Algoritmos Genéticos se encargaron de la **optimización de la trayectoria** que minimizara dicho tiempo. De esta manera, ambos enfoques se complementan: uno aportando capacidad predictiva y el otro capacidad de búsqueda y optimización.

En lo que respecta al componente de *Machine Learning*, se optó por la utilización de un **modelo supervisado**, dado que era posible contar con un conjunto de datos empíricos previamente recolectados. Estas mediciones incluían variables que se tomaron según las condiciones del día en el que se realizaron los experimentos como la velocidad del viento, el ángulo de desplazamiento y la distancia a recorrer, asociadas a un tiempo de cruce real obtenido de manera empírica. Este marco de datos etiquetados permitió entrenar un modelo predictivo capaz de generalizar y ofrecer estimaciones confiables en condiciones similares.

El conjunto de datos empleados para entrenar y validar el modelo de predicción del tiempo de cruce en kayak se construyó a partir de los registros de datos históricos diarios del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de la distancia efectiva del trayecto (recopilada de Google Maps).
Dado que la mayoría de datos corresponden a portales pagos, y dado que el presente estudio es realizado por estudiantes, se utilizaron los datos meteorológicos horarios del día anterior proporcionados por el SMN de manera gratuita. Cada día, se descargaba una planilla correspondiente a los datos del día anterior, se filtraba por la estación correspondiente por ubicación (en este caso, Rosario Aero), se calculaba un promedio de la velocidad del viento (en km/h) y un promedio de la dirección del viento, en grados. El resto de variables (temperatura, humedad, presión atmosférica y horario) fueron descartados para el uso de este trabajo de investigación.
Luego, se calculaba en forma manual una distancia en metros aproximada del trayecto de cruce y un tiempo estimado en minutos para ese día en base a experiencias previas.
Finalmente, se construyeron **22 observaciones** sin valores faltantes.
En este sentido, se decidió mantener un modelo simple, empleando como variables de entrada (X) la velocidad y dirección del viento, y la distancia; y como variable de salida (Y) el tiempo de cruce. Entonces, dado que la variable de interés es continua (minutos), se modeló un problema de regresión supervisada con estos datos históricos etiquetados para entrenar el modelo.
Por otro lado, al tener una base de datos de sólo 22 observaciones, se aumenta el riesgo de *overfitting*. El *overfitting* o sobreajuste se refiere a la situación en la que el modelo se ajusta excesivamente a los datos de entrenamiento, capturando patrones específicos y ruido, lo que impide que generalice adecuadamente a datos nuevos. En otras palabras, el modelo aprende detalles particulares en lugar de extraer patrones generales, reduciendo su capacidad predictiva en entornos no vistos. [1]
Para el evaluar el modelo se utilizaron 3 tipos de métricas explicadas previamente en el apartado de Introducción y luego se definieron los diversos modelos para entrenar y evaluar la mejor elección de algoritmo, a saber: *Linear Regression*, *Lasso*, *Elastic Net, Ridge Regression, K Neighbors Regressor, Decision Tree*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Regressor* y *Support Vector Regression*. Dicho de otra manera, se compararon los diversos algoritmos en base a los resultados obtenidos de cada métrica: error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación ($R^2$).

En la evaluación de modelos de regresión, las métricas *MAE* y *MSE* son indicadores fundamentales de precisión. El *MAE* representa el promedio de las diferencias absolutas entre los valores predichos y los observados, por lo que un valor menor indica que, en promedio, las predicciones se aproximan más a la realidad. Por su parte, el *MSE* eleva al cuadrado las diferencias antes de promediarlas, penalizando con mayor severidad los errores grandes; en consecuencia, un *MSE* bajo refleja no sólo precisión general, sino también estabilidad frente a desviaciones extremas. [4]

En ambos casos, valores más bajos son deseables, ya que implican menor discrepancia entre el modelo y los datos reales.

El coeficiente de determinación ($R^2$), en cambio, mide la proporción de la variabilidad de la variable dependiente explicada por el modelo. Su rango teórico va de 0 a 1, donde valores cercanos a 1 indican un ajuste casi perfecto. Un $R^2$ elevado implica que el modelo captura adecuadamente la estructura subyacente de los datos, lo que se traduce en mayor capacidad predictiva. [4]

Por ello, en problemas de regresión, se busca minimizar *MAE* y *MSE*, y maximizar $R^2$.

Por otra parte, para garantizar una evaluación más confiable y reducir la dependencia de una sola partición de datos, se aplicó validación cruzada *k-fold*($k = 5$). Este método divide el conjunto en cinco partes, entrena el modelo en cuatro y valida en la restante, repitiendo el proceso hasta que cada partición haya sido usada como prueba. En cada iteración se calculan las métricas ya mencionadas y al final se obtiene un promedio de esos valores, lo que proporciona una estimación más estable del rendimiento y disminuye el riesgo de sobreajuste. [7]

| Modelo | MAE | $R^2$ | MSE |
|---|---|---|---|
| **LR** | 0.736095 | 0.593643 | 0.832329 |
| **LASSO** | 0.687215 | 0.639566 | 0.776883 |
| **EN** | 0.705682 | 0.629011 | 0.784109 |
| **Ridge** | 0.735594 | 0.594419 | 0.831165 |
| **KNN** | 0.7443 | 0.544736 | 0.935949 |
| **CART** | 0.8865 | 0.406646 | 1.36353 |
| **SVR** | 1.03087 | 0.13323 | 1.78735 |

Tabla 1: Resultados del proceso de validación cruzada k-fold con $k = 5$. Contemplando las medidas MAE, $R^2$ y MSE

En el análisis comparativo, *Lasso* obtuvo los mejores resultados globales: el *MAE* más bajo (0.6872), el *MSE* más bajo (0.7769) y el $R^2$ más alto (0.6396), superando a Ridge y Elastic Net. Esta superioridad se explica por la naturaleza del algoritmo: *Lasso* introduce una penalización L1, que no solo reduce la magnitud de los coeficientes, sino que también realiza selección automática de variables, eliminando aquellas con poca relevancia. Esto mejora la interpretabilidad del modelo y reduce el riesgo de sobreajuste, especialmente en escenarios con posibles variables irrelevantes o correlacionadas. Además, su capacidad para generar modelos más simples y robustos lo convierte en una opción preferente frente a métodos que solo aplican regularización sin selección de variables. En síntesis, la combinación de bajo error, alta capacidad explicativa y regularización con selección de variables justifica la elección de *Lasso* como el modelo más adecuado para este trabajo de investigación.

Ahora bien, para evaluar la capacidad predictiva del modelo, se realizó una

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



partición del conjunto de datos en dos subconjuntos: el 80% se destinó al entrenamiento y el 20% a la prueba. Esta división permite que el modelo aprenda patrones a partir de la mayoría de los datos y posteriormente se valide su desempeño en observaciones no utilizadas durante el ajuste, reduciendo una vez más el riesgo de *overfitting*. [4]

En este sentido se aplicó un barajado aleatorio (*shuffle*) para garantizar que las observaciones se distribuyeran de manera equilibrada entre ambos subconjuntos, evitando sesgos derivados del orden original de los datos. Asimismo, se estableció una semilla fija (*random state*) para asegurar la reproducibilidad de los resultados. [7]

En último lugar, se entrenó el modelo elegido, con el algoritmo *Lasso*, y se evaluó el modelo sobre un conjunto de prueba para verificar su capacidad frente a datos no vistos.

Luego se procede a la serialización del modelo, que consiste en convertir el objeto entrenado en un archivo binario que puede almacenarse y recuperarse posteriormente. Se permite así separar el entrenamiento de la inferencia, optimizando recursos y asegurando la trazabilidad del modelo. Luego, el modelo se debe deserializar para cargarlo en memoria nuevamente y habilitar su uso inmediato. [7]

Una vez cargado el modelo, se requieren los valores de las variables de entrada (velocidad y dirección promedio del viento y distancia del proyecto). Estos datos se estructuran en el formato requerido por el modelo y se someten a una inferencia mediante la cual se genera la predicción de tiempo estimado de cruce. Esta última fase refleja la función principal del modelo en operación: transformar datos de entrada en información útil para la toma de decisiones del algoritmo genético.

Para la implementación del algoritmo genético, se diseñó una representación del río mediante una **grilla discreta** de casilleros. Para ello, se propuso un tablero de **50x50**, donde cada celda corresponde a una superficie de **25 m²**. Con esta idea, el **casillero [25,0]** se estableció como el punto de partida y el **casillero [25,49]** como el destino final.

En este marco, cada cromosoma representa un camino posible desde el origen hasta el destino. Para construir la población inicial, se planteó una estrategia mixta: una parte de los individuos siguen trayectorias básicas al estilo “Manhattan”, es decir, combinaciones de movimientos horizontales y verticales sin retrocesos innecesarios, mientras que el resto de los caminos se generan de manera aleatoria. Estos últimos pueden optar por avanzar en una dirección que favorezca la llegada al objetivo o desplazarse hacia una celda adyacente distinta, con la posibilidad de incluir desvíos controlados.



Figura 1: Ejemplo de grilla generada que representa el camino recorrido por un individuo.

Agregamos a la definición de individuo un mecanismo que introduce el efecto de la corriente del río, acumulando desplazamientos hasta superar un umbral (proporcional al tamaño de la celda de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



grilla). Una vez alcanzado, se genera un desplazamiento automático en la dirección de la corriente. Esto permite que los caminos se deriven acorde al movimiento de la corriente, aunque no sean capaces de predecirlo para optimizar el camino. Gracias a esta funcionalidad logramos agregar una complejidad mayor a la construcción de los caminos.

La dinámica del algoritmo genético se encuentra parametrizada a través de un archivo de configuración, lo que permite ajustar el tamaño de la población, el método de selección, y las probabilidades de cruce y mutación. Asimismo, se contempla el uso de elitismo, técnica que preserva a los mejores individuos de una generación para la siguiente, evitando perder soluciones de calidad.

Para el proceso de selección de cromosomas, se optó por utilizar el método de **Torneo**. Debido a que la función objetivo de este Algoritmo Genético depende de la estimación de tiempos que realiza el modelo de Machine Learning, optamos por buscar cromosomas que *minimicen* los tiempos de llegada. Con este método de selección, se eligen tantos cromosomas como el 40% de la población para participar de un torneo. El ganador del torneo es el cromosoma que tiene mayor fitness (debido a que tiene el menor tiempo de llegada) y es seleccionado para ser parte de la siguiente generación. Se repite este proceso hasta tener los cromosomas necesarios para conformar la próxima generación.

Luego de seleccionar los padres se realiza el proceso de entrecruzamiento (*crossover*). Debido a que los cromosomas están conformados por una sucesión de tuplas que determinan el camino a tomar, no podemos simplemente elegir un punto aleatorio para combinar los cromosomas. Lo que hacemos entonces es buscar los puntos de intersección en los caminos de los dos cromosomas, para luego elegir uno aleatorio que será el punto de corte. Luego, se intercambian entre sí las tuplas que exceden el punto de corte, produciendo así dos cromosomas de la generación siguiente. En el caso de no haber encontrado puntos de intersección, o de no haberse validado la probabilidad de entrecruzamiento, este no se realiza y los padres pasan directamente a la nueva generación.

El último paso del algoritmo genético para obtener la generación siguiente es realizar una mutación. Una vez más, la forma en que adaptamos la particularidad de nuestro cromosoma al proceso de mutación fue programando una función que inserta un *desvío* en el camino que realiza el cromosoma. Es decir, la forma en que el cromosoma muta es desviándose del camino que sigue en un segmento aleatorio para luego volver a retomarlo. Esta técnica sigue los principios de la mutación genética ya que agrega una volatilidad al algoritmo que puede accidentalmente permitir que el cromosoma encuentre un camino más eficiente. Cabe aclarar que optamos mantener la probabilidad de mutación en un 30% ya que no podemos depender de este método para optimizar el recorrido, si bien es una herramienta para ayudar al proceso.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



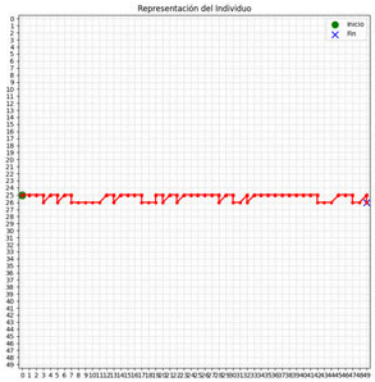



Figura 2: Representación del camino del cromosoma óptimo después de 10 generaciones de mejora.

## Conclusión

El desarrollo realizado permitió comprobar que la integración entre un modelo de Machine Learning y un Algoritmo Genético puede ofrecer resultados sólidos en la resolución de problemas de optimización asociados a trayectorias. A partir de la construcción de individuos que representan recorridos posibles y la utilización del modelo supervisado como función objetivo, se consiguió un esquema capaz de evaluar alternativas de manera realista, incorporando factores como la distancia, el viento y la corriente.

El sistema alcanzó un nivel de funcionamiento estable, conciso y útil, en el que los operadores genéticos lograron explorar el espacio de soluciones mientras que el Machine Learning aportó la capacidad de estimar tiempos de cruce con coherencia respecto de los datos empíricos. Esta complementariedad permitió evolucionar rutas cada vez más eficientes, manteniendo un balance adecuado entre diversidad y convergencia.

En definitiva, el trabajo demostró que la combinación de estas dos técnicas, cada una con sus fortalezas, constituye una estrategia viable para abordar problemas complejos donde la predicción y la optimización deben interactuar de manera estrecha.

**Referencias**

[1] Álvaro. (2020, mayo 25). ¿Qué es el sobreajuste u overfitting y por qué debemos evitarlo? Machine Learning para Todos. https://machinelearningparatodos.com/que-es-el-sobreajuste-u-overfitting-y-por-que-debemos-evitarlo/

[2] Díaz, D. E. (2013a). Introducción a los algoritmos genéticos. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario.

[3] GeeksforGeeks. (2025, agosto 28). Machine Learning Tutorial. GeeksforGeeks. https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/machine-learning/

[4] James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). An introduction to statistical learning: With applications in R (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1

[5] Malvárez, A. I. (s. f.). El delta del río Paraná como mosaico de humedales. Laboratorio de Ecología Regional, Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

[6] Municipalidad de Rosario. Dirección de Educación Ambiental. (2021). Rosario y sus humedales: Cuaderno de educación ambiental (2ª ed. digital, con modificaciones). Secretaría de Ambiente y Espacio Público.

[7] Osman, M. (2023, octubre). Building your first machine learning solution [Curso en línea]. Pluralsight. https://www.pluralsight.com/

[8] Rojas, E. M. (2020). Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (E28), 586-599. Recuperado de https://www.risti.xyz/index.php/es/ediciones

[9] Villalobos-Murillo, J., Garita-González, G., & Alfaro Ramírez, B. J. (2025). Desarrollo de competencias: inteligencia artificial y aprendizaje automático en prácticas supervisadas de estudiantes en computación. Uniciencia, 39(1), 32-50. https://dx.doi.org/10.15359/ru.39-1.3

**Datos de Contacto**

*Juan Pedro Casañas. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario. Friuli bis 131, S2000 Rosario, Santa Fe, Argentina.*
*juan.pedro.casanas99@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*María Sofía Ochoa. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario. Paraguay 373 6A, S2000 Rosario, Santa Fe, Argentina.*
*masofiaochoa@gmail.com*

*Martín Quagliardi. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario. Bv. Oroño 509, S2000 Rosario, Santa Fe, Argentina.*
*martinez34950@gmail.com*

*Mateo Regodesebes. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario. Alvear 3556, S2000 Rosario, Santa Fe, Argentina.*
*mateoregodesebes@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Nivel 0: Ingeniería en el Corazón de los Videojuegos

**Brizuela, Mateo; Harón, Matías; Nuñez, Celeste; Olguin, Daniel; Signorini, Ezequiel**
**Centro Regional Universitario Córdoba IUA, Facultad de Ingeniería**

**Abstract**
*Este trabajo, en el marco de la asignatura Procesos de Desarrollo de Software I, analiza las particularidades de la Ingeniería de Requerimientos en videojuegos, resaltando la necesidad de una gestión eficiente para asegurar la calidad del producto. Asimismo, se revisan prácticas actuales, principales desafíos y posibles estrategias para mejorar la definición y manejo de requerimientos en proyectos de diversa escala.*

**Palabras Clave**
Ingeniería de Requerimientos, desarrollo de videojuegos, feature creep, metodologías ágiles, requisitos no funcionales, experiencia de usuario, validación de requerimientos.

## Introducción

La industria de los videojuegos ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, transformándose en un sector con un alto impacto cultural, social y económico. A diferencia del desarrollo de software tradicional, la creación de videojuegos implica no sólo resolver problemas técnicos, sino también diseñar experiencias interactivas que resulten inmersivas y emocionalmente significativas para los jugadores. En este contexto, la Ingeniería de Requerimientos cobra una relevancia especial, ya que debe abarcar tanto aspectos funcionales como no funcionales, incluyendo elementos subjetivos como la jugabilidad, la narrativa, la estética y la respuesta emocional del usuario.

La naturaleza multidisciplinaria del desarrollo de videojuegos introduce desafíos particulares en la identificación, documentación y validación de requerimientos. Estos desafíos se intensifican debido a la dificultad de anticipar cómo los jugadores van a interactuar con el producto final y cómo percibirán su experiencia de juego. Además, los equipos de desarrollo suelen estar compuestos por perfiles diversos como diseñadores, programadores, artistas y guionistas, lo que añade complejidad a la comunicación y gestión de requerimientos.

En este trabajo se abordan cinco ejes temáticos: los desafíos específicos que enfrenta esta disciplina en el sector; los distintos tipos de requerimientos relevantes para un videojuego; las metodologías más utilizadas para la elicitación de dichos requerimientos; el análisis de casos de estudio representativos; y un conjunto de prácticas recomendadas que pueden contribuir a una gestión más eficaz de los requerimientos en proyectos de videojuegos.

## 1. Desafíos del desarrollo de videojuegos

### 1.1 Equilibrio entre creatividad y restricciones técnicas

El desarrollo de videojuegos se encuentra en un punto único entre la expresión artística y la implementación técnica. Por un lado, los diseñadores y artistas buscan crear experiencias innovadoras, impactantes y emocionalmente resonantes, por otro, los programadores deben implementar estas visiones dentro de las restricciones técnicas existentes. Esta dualidad genera una tensión inherente en la definición de los requerimientos de un videojuego, ya que las aspiraciones creativas a menudo chocan con las limitaciones tecnológicas.

Como señalan Callele, Neufeld y Schneider [1], la traducción de conceptos creativos abstractos a requisitos técnicos concretos representa uno de los mayores desafíos en la Ingeniería de Requerimientos para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



videojuegos. A diferencia del software tradicional, donde la funcionalidad suele ser el aspecto dominante, en los videojuegos la experiencia del usuario es tan importante como la funcionalidad subyacente. Esto implica que los requerimientos deben capturar no sólo lo que el sistema debe hacer, sino también cómo debe hacer sentir al jugador, lo que añade una capa adicional de complejidad al proceso de la Ingeniería de Requerimientos.

En definitiva, el proceso de captura y documentación de requerimientos debe funcionar como un "puente" entre estas dos dimensiones, facilitando la comunicación entre las partes involucradas en el desarrollo del proyecto, las cuales cuentan con perfiles, formaciones, vocabularios y prioridades diferentes.

### 1.2 Comunicación entre equipos multidisciplinarios

La creación de videojuegos es inherentemente multidisciplinaria, involucrando a profesionales con habilidades y perspectivas diversas: programadores, artistas visuales, diseñadores de sonido, guionistas, diseñadores de juego, entre otros. Cada uno de estos perfiles tiene su propio vocabulario, prioridades y forma de entender el proyecto, lo que puede generar barreras de comunicación significativas.

Los requerimientos en este contexto no sólo deben ser técnicamente precisos, sino también comprensibles para todos los miembros del equipo, independientemente de su especialización. Un requerimiento que parece claro para un programador puede resultar ambiguo para un artista, y viceversa. Esto exige herramientas y metodologías específicas que faciliten una comunicación efectiva entre disciplinas.

Como evidencian Blomberg y Lind [9] en su estudio sobre la comunicación en los equipos de desarrollo, la falta de una terminología compartida y el uso de lenguaje específico provocan malentendidos y ralentizan el flujo de trabajo entre programadores, diseñadores y artistas. Para mitigar estos problemas, los investigadores proponen el uso de herramientas colaborativas (wikis, tableros Kanban, diagramas visuales), así como la elaboración de glosarios comunes y sesiones de alineación interdisciplinares, que facilitan un vocabulario unificado y visibilidad continua de las tareas. Por otro lado, también hacen particular énfasis en que *"todos los problemas de comunicación están directamente relacionados con la gestión y el liderazgo"*, señalando así la necesidad de fortalecer las competencias directivas mediante formación específica y el establecimiento de canales formales de retroalimentación.

### 1.3 *Feature Creep* y evolución dinámica de requerimientos

El *feature creep* se ha convertido en uno de los desafíos más prominentes en el desarrollo de videojuegos modernos [10]. Este fenómeno se refiere a la tendencia de añadir constantemente nuevas características y funcionalidades durante el ciclo de desarrollo, a menudo en respuesta a presiones competitivas del mercado o a ideas emergentes dentro del equipo creativo.

Un estudio realizado por Henrik Edholm y Mikaela Lidström [2] revela que dicho fenómeno es una de las principales causas del *crunch* (períodos de sobrecarga de trabajo) en la industria de los videojuegos. Según el análisis sobre múltiples postmortems de desarrollo, el *feature creep* representa uno de los factores más recurrentes que conducen a la extensión de plazos y al trabajo excesivo. Los autores identificaron que la adición no planificada de características durante el desarrollo no sólo altera los cronogramas establecidos, sino que también genera una cascada de complicaciones técnicas y de diseño que requieren soluciones bajo presión.

Este problema se vuelve particularmente relevante cuando se considera que, según el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



informe "*Developer Satisfaction Survey* (DSS)" de la *International Game Developers Association* (IGDA) de 2023 [3], aproximadamente el 53% de los desarrolladores aún reportan experiencias de *crunch* en sus proyectos actuales, evidenciando cómo el *feature creep* continúa siendo un desafío no resuelto en la gestión de proyectos de videojuegos.

En otras palabras, el problema de cambios en los requerimientos, inherente al desarrollo de software, se ve exacerbado por la naturaleza incremental del desarrollo de videojuegos y la subjetividad a la que se ve sujeta la mayor parte de éstos. A medida que los prototipos evolucionan y los mecanismos de juego se refinan, surgen nuevas posibilidades que no se habían contemplado inicialmente y, si bien esta flexibilidad puede conducir a mejoras significativas en el producto final, también complica enormemente la gestión de los requerimientos y, por consiguiente, del proyecto como un todo, puesto que sus límites se vuelven difusos y cambiantes.

### 1.4 Evolución de las expectativas del mercado

Estrechamente relacionada con el *feature creep* se encuentra la realidad de que el mercado de videojuegos es notablemente volátil y está sujeto a cambios rápidos en las preferencias de los consumidores [10]. Lo que resulta innovador y atractivo en un momento dado puede volverse obsoleto en cuestión de meses. Esta realidad ejerce una presión constante sobre los equipos de desarrollo para adaptarse a las tendencias emergentes, incluso cuando un proyecto ya está en marcha.

Marchand y Hennig-Thurau [11] muestran que las innovaciones tecnológicas (realidad virtual, *cloud gaming*, etc) y los nuevos modelos de monetización (suscripción, microtransacciones, entre otros) alteran con frecuencia las prioridades de diseño y obligan a replantear los requerimientos sobre la marcha. Esta incertidumbre inherente al mercado de videojuegos implica que los requerimientos no pueden ser completamente fijos, sino que deben contemplar cierto grado de adaptabilidad, lo que contrasta con los enfoques más tradicionales de la Ingeniería de Software, donde se busca establecer especificaciones claras y estables antes de iniciar el desarrollo, minimizando los posibles cambios futuros.

## 2. Tipos de requerimientos en los videojuegos

La Ingeniería de Requerimientos en videojuegos abarca una variedad de especificaciones que van más allá de las necesidades técnicas tradicionales, integrando aspectos funcionales, técnicos, no funcionales y artísticos [4]. Esta diversidad refleja la naturaleza interdisciplinaria del desarrollo de videojuegos, donde se combinan elementos de software, diseño, arte y narrativa para crear experiencias interactivas inmersivas.

### 2.1 Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales describen las acciones y comportamientos que el sistema debe realizar desde la perspectiva del usuario. En el ámbito de los videojuegos, esto incluye mecánicas de juego, reglas de interacción, respuestas del sistema ante acciones del jugador y funcionalidades específicas como guardar partidas o gestionar inventarios. Según Sommerville [12], estos requerimientos especifican lo que el sistema debe hacer, detallando entradas, salidas y comportamientos en diversas situaciones.

Un requerimiento funcional respecto a un videojuego sería: El personaje principal debe poder saltar cuando el jugador presione la tecla de espacio. Este tipo de requerimientos es esencial para definir las funcionalidades básicas del juego y asegurar que se cumplan las expectativas del usuario.

### 2.2 Requerimientos no funcionales

Sommerville [12] define a los requerimientos no funcionales como

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



propiedades y restricciones del sistema que no están directamente vinculadas con las funciones que éste realiza, pero que son fundamentales para determinar su comportamiento general, su nivel de calidad y su aceptación por parte del usuario final. Estos requerimientos aluden a propiedades emergentes del sistema, como la fiabilidad, el rendimiento o la usabilidad.

Aplicados al contexto de los videojuegos, adquieren una dimensión crítica, ya que influyen directamente en la experiencia del jugador. Atributos como la fluidez de la animación, los tiempos de carga, la calidad del sonido o la estabilidad del sistema constituyen ejemplos claros de requerimientos no funcionales cuya correcta implementación puede definir el éxito o el fracaso de un título en el mercado.

Investigadores como Callele, Neufeld y Schneider han extendido estas ideas específicamente al dominio de los videojuegos, subrayando que atributos como la inmersión, la tensión narrativa o la sensación de diversión deben considerarse como requerimientos no funcionales. Según estos investigadores, estos atributos no pueden ser ignorados, ya que son centrales para la experiencia, y su ausencia puede traducirse en el rechazo del producto por parte de los usuarios [1].

**2.3 Requerimientos técnicos**

Sommerville define a los requerimientos técnicos como aquellas especificaciones que determinan las plataformas, tecnologías y restricciones técnicas necesarias para que un sistema pueda ser desarrollado, implementado y operado correctamente [12].

En el desarrollo de videojuegos, los requerimientos técnicos definen las condiciones sobre las cuales se construirá el producto. Específicamente, estos requerimientos establecen aspectos clave como el motor gráfico a utilizar, las tecnologías de desarrollo seleccionadas (lenguajes de programación, *frameworks*, bibliotecas), y las plataformas objetivo del videojuego, que pueden incluir PC, consolas o dispositivos móviles. En el caso de los juegos desarrollados para computadoras personales, los requerimientos técnicos también especifican los recursos mínimos necesarios para la ejecución del videojuego.

**2.4 Requerimientos narrativos, artísticos y emocionales**

Si bien no existe una definición formal y ampliamente aceptada de requerimientos narrativos, diversos autores han reconocido su importancia dentro del proceso de desarrollo de videojuegos. En particular, Callele, Neufeld y Schneider sostienen que los elementos narrativos, junto con los artísticos y emocionales, deben ser considerados como requerimientos no funcionales, ya que influyen directamente en la experiencia del jugador y, por ende, en la percepción y el éxito del producto final.

Estos elementos incluyen aspectos como la historia, los personajes, el desarrollo del argumento y la ambientación, todos ellos fundamentales para construir una experiencia de juego inmersiva y emocionalmente significativa.

Los mismos autores destacan además la necesidad de capturar estos componentes desde las etapas iniciales del desarrollo. En ese sentido, describen cómo documentos tales como el *Game Design Document* (GDD) funcionan como vehículo para plasmar y comunicar la visión creativa del proyecto, incluyendo su estilo visual, tono narrativo y dirección artística. Aunque el GDD no posee una estructura estandarizada, cumple un rol clave como fuente preliminar de requerimientos artísticos y emocionales, que posteriormente deben transformarse en especificaciones más formales a través de prácticas de la Ingeniería de Requerimientos [1].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 3. Metodologías de elicitación de requerimientos en videojuegos

La elicitación de requerimientos en el desarrollo de videojuegos presenta características distintivas que difieren sustancialmente de otros dominios del software. Debido a la naturaleza creativa, emocional y multidisciplinaria del medio, las metodologías tradicionales resultan, en muchos casos, insuficientes o incompletas. Es por eso que en la industria se han adaptado y combinado diversas prácticas con el objetivo de capturar no sólo necesidades funcionales, sino también aspiraciones estéticas y experiencias subjetivas de los usuarios.

### 3.1 *Game Design Document* (GDD)

Uno de los recursos más utilizados en las etapas iniciales de desarrollo es el *Game Design Document* (GDD). Este documento, tal como lo describen Callele, Neufeld y Schneider , funciona como un medio para plasmar la visión creativa del equipo, integrando mecánicas de juego, narrativa, diseño de niveles, estilo visual y tono general del proyecto. Si bien no constituye por sí solo un documento de requerimientos formal, su rol como punto de partida es fundamental, proporciona una base para transformar ideas abstractas en especificaciones más concretas y analizables durante las fases posteriores del desarrollo [1].

### 3.2 Prototipado temprano

El prototipado temprano es una técnica esencial en la Ingeniería de Requerimientos, especialmente en el desarrollo de videojuegos, donde la experiencia del usuario y la jugabilidad son aspectos fundamentales. Esta práctica permite validar conceptos clave mediante versiones simplificadas del juego, facilitando la identificación de inconsistencias, requisitos implícitos y limitaciones técnicas no previstas inicialmente a partir de la retroalimentación obtenida.

Según Ian Sommerville, en su libro Software Engineering, el prototipado es una estrategia efectiva para validar o derivar los requerimientos del sistema. El proceso de prototipado comienza con aquellos requerimientos que no se comprenden completamente, permitiendo a los desarrolladores explorar y refinar las necesidades del sistema de manera iterativa [12].

### 3.3 Diseño Centrado en el Usuario (DCU)

Una estrategia especialmente útil para la elicitación de requerimientos en videojuegos es el Diseño Centrado en el Usuario (DCU). Esta metodología pone el foco en comprender en profundidad a los jugadores: sus motivaciones, capacidades, expectativas y contextos de uso. Su objetivo es asegurar que los requerimientos del sistema reflejen de forma fiel las necesidades reales de quienes van a interactuar con el producto final.

El enfoque fue introducido y ampliamente difundido por Donald A. Norman, reconocido investigador en diseño de interacción. En su libro "*User-Centered System Design*: *New Perspectives on Human-Computer Interaction"*, Norman define el DCU como un proceso iterativo que involucra activamente a los usuarios durante todas las etapas del desarrollo, desde la conceptualización hasta la evaluación del sistema. Esta filosofía de diseño, aunque surgida en el contexto de interfaces y productos interactivos, ha demostrado ser especialmente eficaz en el desarrollo de videojuegos, donde la experiencia del usuario es un componente central del valor del producto [13].

Aplicado a este ámbito, el DCU se traduce en prácticas como la elaboración de personas (perfiles ficticios que representan distintos tipos de jugadores), el diseño de escenarios de uso (situaciones que modelan interacciones típicas del jugador con el sistema), y la realización de pruebas con usuarios reales. Estas actividades permiten descubrir requerimientos funcionales y no

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



funcionales que pueden ser difíciles de anticipar mediante métodos puramente técnicos o documentales, y resultan clave para crear experiencias de juego coherentes, accesibles y emocionalmente significativas.

### 3.4 Participación de *Stakeholders*

En el desarrollo de videojuegos, la diversidad de disciplinas involucradas (programación, diseño de juego, narrativa, arte, sonido, *testing*, entre otras) requiere una participación activa de múltiples actores en el proceso de elicitación de requerimientos. A estos actores se los conoce como *stakeholders*, término introducido formalmente por R. Edward Freeman en su libro "*Strategic Management: A Stakeholder Approach"*, donde define a los *stakeholders* como *"cualquier grupo o individuo que puede afectar o ser afectado por el logro de los objetivos de una organización*" [14].

Ian Sommerville señala que identificar y comprender a los *stakeholders* es uno de los pasos clave en la Ingeniería de Requerimientos, ya que son ellos quienes expresan las necesidades, restricciones y expectativas que el sistema debe satisfacer [12].

Los *stakeholders* en videojuegos pueden incluir: diseñadores de niveles, guionistas, artistas conceptuales, programadores, testers, responsables de marketing, líderes de producto y, en muchos casos, representantes de la comunidad de jugadores. Su involucramiento no sólo permite capturar requerimientos desde múltiples perspectivas, sino también anticipar conflictos, alinear visiones y reducir ambigüedades.

## 4. Ejemplos de la industria

El análisis de casos reales permite comprender cómo las prácticas de Ingeniería de Requerimientos influyen en el desarrollo de videojuegos, tanto en contextos de éxito como en aquellos donde se presentan dificultades. Contrastar diferentes experiencias ofrece una perspectiva útil para identificar buenas prácticas, así como errores comunes que pueden afectar los resultados del proyecto. A continuación, se presentan dos ejemplos ilustrativos: uno en el que la gestión de requerimientos facilita la coordinación en un entorno creativo, y otro en el que ciertas carencias en la planificación y el control inciden negativamente en el proceso de desarrollo.

### 4.1 Caso de éxito: *The Hunt*

En 2010, Cisco desarrolló *The Hunt*, un juego de realidad alternativa (ARG) creado para su evento corporativo *Global Sales Experience* (GSX) [5]. En él, los jugadores ayudaban a un personaje del juego (Isabel) a resolver el misterio del robo del diario de su padre, colaborando globalmente mediante pistas, acertijos y una narrativa interactiva, con el objetivo de ofrecer una experiencia de aprendizaje innovadora para los empleados de la empresa a nivel global.

Desde el inicio del proyecto, se definieron requerimientos funcionales y no funcionales de forma clara, contemplando tanto las necesidades técnicas (la escalabilidad del sistema y la seguridad en línea) como los objetivos creativos (inmersión narrativa, accesibilidad para equipos distribuidos globalmente, y dinámica colaborativa). Se elaboraron documentos de diseño detallados, se utilizaron herramientas de seguimiento de requerimientos y se promovió la validación iterativa mediante prototipos internos.

Además, el proyecto se benefició de una colaboración eficaz entre equipos multidisciplinarios: diseñadores narrativos, ingenieros, personal de recursos humanos y expertos en experiencia del usuario trabajaron de forma coordinada. La comunicación fluida entre estas áreas permitió adaptar el diseño sin desviarse de los objetivos ni del alcance inicial. También se llevaron a cabo pruebas piloto con usuarios internos para detectar errores tempranos y ajustar funcionalidades según las necesidades reales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El resultado fue una experiencia altamente valorada por los participantes que cumplió sus objetivos formativos. *The Hunt* se consolidó en un ejemplo exitoso de cómo la aplicación rigurosa de la Ingeniería de Requerimientos puede coexistir con la creatividad y la innovación.

### 4.2 Caso de fracaso: *Yogventures!*

*Yogventures!* [6] Fue un proyecto de videojuego financiado colectivamente a través de *Kickstarter,* (una plataforma de *crowdfunding*) en 2012, impulsado por la popularidad de los creadores de contenido de Youtube: Yogscast. El juego prometía una experiencia *sandbox* estilo *Minecraft*, con exploración libre, personalización de mundos y participación directa de la comunidad.

A pesar de haber recaudado más de 500,000USD, el desarrollo se enfrentó a múltiples problemas desde sus primeras etapas. No se definieron requerimientos formales: las funcionalidades clave se iban modificando sobre la marcha, y se agregaban nuevas ideas sin un proceso de validación ni análisis de impacto. Este crecimiento descontrolado del alcance (*feature creep*) desvió recursos y diluyó los esfuerzos del equipo.

Además, en el videojuego no se implementaron técnicas básicas de recolección o gestión de requerimientos como entrevistas con usuarios, documentación de casos de uso o revisiones periódicas del *backlog*. La relación entre Yogscast y el estudio contratado (*Winterkewl Games*) sufrió tensiones crecientes debido a diferencias en expectativas y falta de liderazgo técnico. La comunicación con la comunidad también fue deficiente: las actualizaciones eran esporádicas, poco claras y muchas veces contradictorias con versiones anteriores.

Finalmente, el proyecto fue cancelado sin entregar una versión funcional del juego. Este es un ejemplo paradigmático de cómo la ausencia de procesos fundamentales de la Ingeniería de Requerimientos puede conducir al fracaso, incluso cuando hay financiamiento y una base de usuarios entusiasta.

## 5. Prácticas recomendadas

La Ingeniería de Requerimientos en videojuegos demanda enfoques flexibles, herramientas colaborativas y procesos de control de calidad específicos para este tipo de proyectos.

### 5.1 Metodologías ágiles adaptadas al desarrollo de videojuegos

Las filosofías ágiles como *Scrum*, son comúnmente aplicadas en el desarrollo de videojuegos debido a su capacidad para gestionar cambios frecuentes y promover la colaboración entre equipos técnicos y creativos [7]. *Scrum* se organiza en *sprints*, ciclos cortos que permiten iteraciones rápidas y retroalimentación constante, lo que facilita la adaptación de los requerimientos durante el proyecto.

Por otro lado, *Extreme Programming* (XP) enfatiza la programación en pareja, la integración continua y la entrega frecuente de versiones funcionales, garantizando una mayor flexibilidad ante los cambios y un enfoque constante en la calidad del código. *Kanban*, otra filosofía ágil, se centra en la visualización del flujo de trabajo mediante tarjetas, ayudando a gestionar las tareas y detectar cuellos de botella, lo que asegura un desarrollo fluido y continuo.

Estas filosofías permiten adaptar el desarrollo a los cambios frecuentes en los requerimientos, maximizando la eficiencia y alineando el equipo con las necesidades del proyecto [8].

### 5.2 Prácticas propuestas para la gestión de los requerimientos

La gestión de requerimientos en videojuegos se potencia con tableros *Kanban* y *backlogs* dinámicos que priorizan historias de usuario. La documentación colaborativa reduce ambigüedades y mejora la comunicación entre disciplinas. Además,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la integración con sistemas de control de versiones asegura trazabilidad entre requerimientos y código, mientras que las herramientas de prototipado visual permiten validar conceptos de forma temprana [8].

### 5.3 Herramientas de validación y verificación

La validación asegura que los requerimientos reflejen lo que los usuarios necesitan, la verificación comprueba que el producto cumple con ellos. Se recomiendan prototipos tempranos, pruebas automatizadas y testeo con usuarios reales como prácticas eficaces para detectar problemas y mejorar la calidad antes del lanzamiento.

## Conclusión

A partir del análisis realizado se identificaron y clasificaron los tipos de requerimientos propios del desarrollo de videojuegos (funcionales, no funcionales, técnicos y aquellos de índole narrativa/estética), así como los desafíos a los que se enfrenta la industria, y se describió cómo ciertas prácticas (el prototipado temprano, el Diseño Centrado en el Usuario y la participación activa de los *stakeholders*) contribuyen a gestionar esta complejidad.

Los casos analizados (el éxito de *The Hunt* y el fracaso de *Yogventures!*) ilustran que una gestión formal e iterativa de los requerimientos, acompañada de herramientas colaborativas y validación temprana con los usuarios, reduce los riesgos operativos y permite alinear la visión creativa con las limitaciones técnicas y comerciales. En términos prácticos, se recomienda adaptar marcos ágiles a las particularidades del equipo, priorizar prototipos para validar supuestos y establecer canales de comunicación y glosarios compartidos que mitiguen malentendidos entre disciplinas.

En síntesis, la Ingeniería de Requerimientos aplicada a videojuegos deja de ser un mero "trámite documental" para convertirse en una disciplina que permite construir experiencias técnicamente sólidas y creativamente consistentes, mejorando tanto la calidad del producto como la sostenibilidad del proceso de desarrollo.

**Referencias**

[1] David Callele, Eric Neufeld, Kevin Schneider. *"Requirements Engineering and the Creative Process in the Video Game Industry"*.

[2] Henrik Edholm & Mikaela Lidström. *"Crunch time: the Causes and Effects of Overtime in the Games Industry"*.

[3] International Game Developers Association. *"Developer Satisfaction Survey 2023"*.

[4] Game Developer. *"Planning for fun in game programming - Part 1*".

[5] Celina Beach. *"A Behind-the-Scenes Look at the Making of Cisco's ARG The Hunt"*.

[6] Word Smiths. *"Case Studies of Failed Indie Games: Lessons in Game Development"*.

[7] Code and Play. *"Utilizando Scrum para el desarrollo de videojuegos"*.

[8] Starloop Studios. *"Mejores prácticas Agile en el desarrollo de juegos"*.

[9] Fina Blomberg & Louise Lind. *"Let's level up our communication: A study of communication challenges in game development teams"*.

[10] Aftab Hussain, Omar Asadi & Debra J. Richardson. *"A Holistic Look at Requirements Engineering in the Gaming Industry"*.

[11] André Marchand & Thorsten Hennig-Thurau. *"Value Creation in the Video Game Industry: Industry Economics, Consumer Benefits, and Research Opportunities"*.

[12] Sommerville, I. (2015). *"Software Engineering (10th ed.)"*. Pearson Education.

[13] Norman, D. A., & Draper, S. W. (Eds.). (1986). *"User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction"*. CRC Press.

[14] Freeman, R. Edward. (1984). *"Strategic Management: A Stakeholder Approach"*. Pitman Publishing.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Solución Integral Basada en Tecnologías Web para la Optimización del Servicio de Facturación en Cooperativa de Agua Potable

**Fioravanti, Fiorella Ailen**
***Universidad Nacional del Chaco Austral, Ingeniería en Sistemas de Información***
**Gomez, Martin Rodrigo**
***Universidad Nacional del Chaco Austral, Ingeniería en Sistemas de Información***

**Abstract**
*Este trabajo presenta el desarrollo e implementación de una aplicación web integral para la Cooperativa de Agua Potable de Machagai, una ciudad del interior de Chaco, que permite a los socios consultar sus facturas y consumos de manera digital, eliminando los procesos manuales de impresión y distribución física. El sistema actual genera costos mensuales de $8.600.000 por impresión, distribución y archivo de facturas físicas,contribuyendo directamente a la sustentabilidad del medio ambiente. La solución propuesta reduce estos costos a $46.700 mensuales, generando un ahorro del 99,46% y amortizando la inversión inicial de $8.500.000 en menos de un mes. El sistema desarrollado en ASP.NET con base de datos relacional permite consulta de facturas históricas de hasta 24 meses, visualización gráfica de consumos, descarga de facturas en PDF y herramientas administrativas para gestión de socios. La implementación mejora significativamente la transparencia, accesibilidad y eficiencia operativa de la cooperativa.*

**Palabras Clave**
Sistema web, gestión de facturas, cooperativa de agua potable, digitalización, ASP.NET, base de datos relacional, optimización de procesos.

## Introducción

**Nota:** Este proyecto corresponde a un trabajo desarrollado en la cátedra "Diseño de Sistemas" de 3er año de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información y actualmente se encuentra en fase de desarrollo e implementación.

El acceso rápido, claro y transparente a la información sobre el consumo de agua representa una necesidad creciente tanto para usuarios como para entidades administradoras del servicio público. En la actualidad, muchas cooperativas mantienen sistemas tradicionales basados en procesos manuales que generan altos costos operativos, demoras en la entrega de información y limitaciones en el acceso a datos históricos de consumo.

La Cooperativa de Agua Potable de Machagai, Chaco, enfrenta esta problemática con un sistema que requiere la participación de 10 empleados para la recolección de datos de consumo, impresión de 25.000 facturas mensuales, encarte manual y distribución física casa por casa. Este proceso consume aproximadamente tres semanas mensuales y genera costos operativos de $8.600.000, incluyendo materiales de impresión, recursos humanos y mantenimiento de vehículos.

La problemática se agrava por la falta de acceso inmediato de los usuarios a su historial de consumo y facturas, lo que puede generar confusiones, retrasos en pagos o desconocimiento de cobros indebidos. Además, la cooperativa carece de herramientas modernas para la gestión eficiente de sus socios y el análisis de patrones de consumo.

Este trabajo presenta el desarrollo de una solución integral que digitaliza completamente el proceso de consulta de facturas, proporcionando a los socios acceso web inmediato a su información de consumo y ofreciendo a la cooperativa herramientas administrativas avanzadas. El sistema propuesto no solo resuelve las limitaciones operativas actuales sino que también

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



establece las bases para una gestión moderna y escalable del servicio.
El presente documento se organiza en las siguientes secciones: desarrollo de la propuesta técnica, análisis de factibilidad económica y operacional, especificación de requerimientos funcionales y no funcionales, trabajos relacionados, y conclusiones con trabajos futuros.

**Propuesta de Desarrollo**
**Justificación del Proyecto**
El acceso rápido, claro y transparente a la información sobre el consumo del agua es una necesidad creciente tanto para los usuarios como para las entidades administradoras del servicio. Actualmente, muchas personas deben revisar sus boletas de agua en formatos físicos, lo que puede generar confusiones, retrasos en pagos o incluso desconocimiento de cobros indebidos.
La Cooperativa de Agua Potable de Machagai enfrenta desafíos significativos en su sistema actual de gestión de facturas, que involucra procesos manuales extensivos, altos costos operativos y limitaciones en el acceso a la información por parte de los socios. El sistema tradicional no solo genera gastos elevados en materiales y recursos humanos, sino que también presenta deficiencias en términos de transparencia y accesibilidad de la información.

**Objetivos del Proyecto**
**Objetivo General**
Desarrollar e implementar una aplicación web integral para la Cooperativa de Agua Potable de Machagai, Chaco, que permita a los socios consultar sus facturas y consumos de manera rápida, segura y transparente, y que a su vez brinde a los administradores una herramienta de gestión eficiente mediante una base de datos centralizada para el registro, actualización y control de la información de los socios, optimizando así los procesos administrativos y de facturación.
**Objetivos Específicos**
Diseñar e implementar una aplicación web accesible que permita a los socios consultar sus facturas de consumo de agua mediante su número de socio y número de suministro
Permitir la visualización de facturas de hasta 12 y 24 meses de antigüedad, mostrando claramente el estado de pago (pagado/no pagado) de cada una
Incorporar una sección gráfica e interactiva que refleje el historial de consumo mensual de cada socio durante el último año, facilitando el seguimiento y análisis de su uso del servicio
Optimizar los procesos de gestión y distribución de facturas, reduciendo los costos económicos y ambientales derivados de la impresión y reparto físico de boletas
Garantizar la seguridad y privacidad de los datos de los usuarios, asegurando el acceso únicamente a la información correspondiente a cada socio
Facilitar el acceso multiplataforma al sistema, permitiendo su uso desde dispositivos móviles, computadoras y tablets mediante navegadores web
Proveer a la cooperativa de herramientas administrativas básicas para la gestión de información relacionada al estado de pagos y consumos de los usuarios.

**Metodología de Desarrollo**
Para el desarrollo del sistema se adoptó la metodología ágil SCRUM, debido a que permite entregar resultados de forma incremental, mantener una comunicación constante con la cooperativa y adaptarse a cambios en los requerimientos durante el proceso.

Roles del Equipo SCRUM:
Product Owner (PO): Representante de la cooperativa, encargado de priorizar los requerimientos y garantizar que el producto final satisfaga las necesidades de los socios y de la administración
Scrum Master (SM): Responsable de facilitar la aplicación de la metodología, asegurar el cumplimiento de las prácticas ágiles y eliminar impedimentos que puedan retrasar al equipo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Equipo de Desarrollo: Conformado por analistas y programadores. Este equipo es encargado de construir, probar y documentar el sistema

Organización de Sprints:
El proyecto se estructuró en Sprints de 3 semanas cada uno, con entregables incrementales en cada iteración:

Sprint 1 – Análisis y diseño inicial: análisis de requerimientos, modelo de base de datos, prototipos de interfaces
Sprint 2 – Gestión de socios: Desarrollo del módulo de registro, actualización y consulta de datos de socios
Sprint 3 – Facturación: Implementación de generación de facturas electrónicas, estados de pago y exportación en PDF
Sprint 4 – Visualización de consumos: Desarrollo de gráficos e historial de consumos por socio
Sprint 5 – Portal web del socio: Implementación de login, consultas en línea y diseño responsivo
Sprint 6 – Módulo administrativo: Carga masiva de consumos, gestión de pagos y reportes
Sprint 7 – Integración y pruebas: Unificación de los módulos, pruebas de seguridad, rendimiento y ajustes
Sprint 8 – Fase de implementación: Migración a producción, capacitación al personal y entrega de documentación final.

**Análisis de Factibilidad:**

Para el análisis de factibilidad se realizaron entrevistas estructuradas con el personal de la cooperativa, incluyendo empleados administrativos, personal de reparto y gerencia. Estas entrevistas permitieron obtener información detallada sobre los procesos actuales, costos operativos, tiempos de ejecución y necesidades específicas del sistema.

**Factibilidad Técnica:**

Será necesario contratar un servicio de nube (AWS, Azure o Google Cloud) para almacenar la información de socios, facturas y consumos. Esto garantiza seguridad, escalabilidad, disponibilidad 24/7 y respaldo automático, evitando la dependencia de servidores físicos locales. Para el desarrollo se utiliza tecnología ASP.NET con C# para el backend, JavaScript con frameworks modernos (React/Angular) y para el frontend, y HTML5/CSS3 para diseño responsivo. Sistema gestor de base de datos MySQL 8.0 o SQL Server 2019.

El equipo de desarrollo cuenta con experiencia previa en lenguajes C, C# y .NET, JavaScript, HTML/CSS, y herramientas de control de versiones Git/GitHub, adquirida en materias como Algoritmos y Estructuras de Datos, Análisis de Sistemas y capacitaciones complementarias como #SeProgramar e Informatorio Chaco.

El proyecto es técnicamente viable, ya que los requerimientos de hardware y software están disponibles en el mercado a costos accesibles, y el equipo de desarrollo cuenta con la experiencia necesaria en programación, gestión de bases de datos y entornos web.

**Factibilidad Económica**

El análisis económico demuestra la viabilidad excepcional del proyecto:

Sistema actual: $8.600.000 mensuales ($103.200.000 anuales)

Impresión: $1.000.000 (toner y papel)
Personal para doblado/encarte: $2.750.000
Personal para reparto: $2.750.000
Mantenimiento de motos: $100.000
Archivo de facturas: $1.100.000
Recolección y carga de datos: $3.200.000

Sistema propuesto: $46.700 mensuales
Servidor y hosting: $30.000 mensuales
Mantenimiento y soporte: $200.000 anuales
Inversión inicial: $8.500.000 (desarrollo + capacitación)

El sistema propuesto no solo es viable económicamente, sino altamente rentable.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La reducción de costos operativos (impresión, distribución y mantenimiento) justifica ampliamente la inversión inicial.

**Factibilidad Operacional**

La cooperativa cuenta con personal administrativo capacitado para procesar facturas digitalmente. Se realizaron encuestas a un grupo de usuarios finales (socios) muestran mínima resistencia al cambio debido a los beneficios evidentes: acceso 24/7, consulta inmediata de historial, y eliminación de pérdidas de facturas físicas. El personal de reparto podrá ser reasignado a funciones administrativas o atención al cliente.

El sistema es operacionalmente viable. Existen los recursos humanos necesarios, los usuarios finales están dispuestos a utilizar la plataforma y la resistencia al cambio es mínima frente a los beneficios obtenidos.

**Recolección de requerimientos:**

En el marco de la investigación preliminar se recurrió a la entrevista como técnica de recolección de datos. La misma fue realizada a un empleado de la cooperativa, quien aportó información sobre los procesos actuales de toma de consumos, generación de facturas, costos de impresión, distribución y tiempos de trabajo. Estos datos resultaron fundamentales para la construcción del diagnóstico de la situación actual y el análisis de factibilidad del sistema propuesto.

**Requerimientos Funcionales:**

Los requerimientos funcionales describen lo que el sistema debe hacer:

RF1 – El sistema debe permitir que el socio se identifique mediante su número de socio y DNI.

RF2 – El sistema debe permitir consultar facturas de consumo de hasta 12 y 24 meses anteriores.

RF3 – El sistema debe mostrar el estado de cada factura como "Pagado", "No Pagado" o “Vencido”.

RF4 – El sistema debe permitir al socio visualizar su historial de consumo mensual en formato gráfico (por ejemplo, gráfico de barras o líneas).

RF5 – El sistema debe permitir descargar las facturas en formato PDF.

RF6 – El sistema debe permitir a los administradores de la cooperativa crear y eliminar las facturas de cada socio.

RF7 – El sistema debe validar que los usuarios solo accedan a sus propios datos.

RF8 – El sistema debe permitir a los administradores registrar nuevos socios, actualizar su información personal y dar de baja a socios inactivos.

**Requerimientos No Funcionales:**

Los requerimientos no funcionales describen cómo debe comportarse el sistema o condiciones que debe cumplir:

RNF1 – Usabilidad: La interfaz debe ser intuitiva y fácil de usar, incluso para usuarios con poca experiencia digital.

RNF2 – Disponibilidad: El sistema debe estar disponible en línea las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

RNF3 – Rendimiento: Las consultas de facturas y visualizaciones de consumo deben responder en menos de 3 segundos.

RNF4 – Seguridad: Los datos personales y financieros deben estar protegidos mediante conexión segura (HTTPS) y prácticas de cifrado.

RNF6 – Compatibilidad: El sistema debe ser compatible con navegadores modernos (Chrome, Firefox, Edge, Safari) y dispositivos móviles.

RNF7 – Mantenibilidad: El sistema debe permitir actualizaciones y mantenimiento sin interrumpir su funcionamiento normal.

RNF8 – Diseño responsivo: El sistema debe adaptarse correctamente a diferentes tamaños de pantalla, funcionando de forma óptima tanto en computadoras como en dispositivos móviles (celulares y tablets).

RNF9 – El sistema debe tener una sección informativa o de contacto con la cooperativa.

**Arquitectura del Sistema**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El sistema implementa una arquitectura de tres capas:
Capa de Presentación: Interfaz web responsiva desarrollada con HTML5, CSS3 y JavaScript
Capa de Lógica de Negocio: Backend en ASP.NET con C# para procesamiento de reglas de negocio
Capa de Datos: Se utilizará una base de datos relacional, con entidades principales: Socio, Factura, Consumo y Estado de Pago. El motor de base de datos seleccionado es MySQL 8.0, debido a su robustez, seguridad, amplia documentación y facilidad de integración con aplicaciones web.

**Casos de Uso Principales**
El sistema contempla los siguientes casos de uso fundamentales:

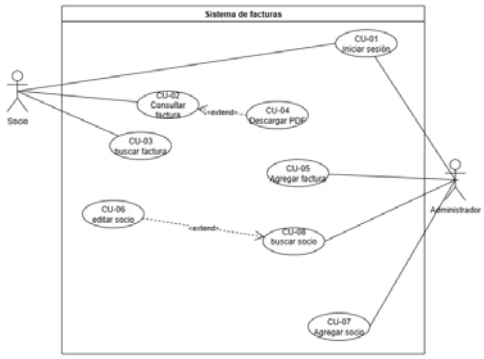



Figura 1: Diagrama de casos de uso del sistema Cooperativa de Agua Potable.

Para Socios:
CU-01 - Iniciar Sesión: El socio se autentica mediante DNI y número de socio para acceder al sistema
CU-02 - Consultar Factura: Visualización detallada de facturas específicas en formato PDF con información completa de consumo y montos
CU-03 - Buscar Factura: Búsqueda avanzada de facturas utilizando filtros por fecha, número de factura o número de suministro
CU-04 - Descargar Factura: Generación y descarga de facturas en formato PDF para archivo personal o impresión

Para Administradores:

CU-05 - Agregar Factura: Creación de nuevas facturas con validación de datos y asignación a socios específicos
CU-06 - Editar Socio: Modificación de información personal y datos de contacto de socios existentes
CU-07 - Crear Socio: Registro de nuevos socios en el sistema con validación completa de datos
CU-08 - Buscar Socio: Localización de socios mediante criterios múltiples como nombre, DNI o número de socio

Cada caso de uso incluye flujos alternativos para manejo de errores, validación de datos incorrectos y gestión de situaciones excepcionales, garantizando la robustez y confiabilidad del sistema.

**Trabajos Relacionados**

Existen diversos trabajos relacionados con la digitalización de servicios públicos y gestión de cooperativas de servicios. Sistemas similares han sido implementados en cooperativas eléctricas de Argentina, como la Cooperativa Eléctrica de Tres Arroyos, que desarrolló una plataforma web para consulta de facturas con resultados positivos en términos de reducción de costos operativos y mejora en la satisfacción del usuario.

A nivel internacional, empresas de servicios públicos en países como España y Chile han implementado soluciones similares, demostrando reducciones de costos entre 60-80% y mejoras significativas en la experiencia del usuario. Sin embargo, estos sistemas frecuentemente requieren inversiones superiores y no consideran las particularidades operativas de cooperativas pequeñas y medianas.
La propuesta presentada se diferencia por su enfoque específico en cooperativas de agua potable de ciudades medianas, considerando limitaciones presupuestarias y la necesidad de interfaces simples para usuarios con limitada experiencia digital.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Conclusión y Trabajos Futuros**

El sistema web desarrollado para la Cooperativa de Agua Potable de Machagai representa una solución integral que resuelve eficientemente las problemáticas operativas identificadas. La implementación genera beneficios económicos inmediatos con un retorno de inversión en menos de un mes, mientras proporciona mejoras significativas en transparencia, accesibilidad y eficiencia administrativa.

Las limitaciones del trabajo incluyen la dependencia de conectividad a internet de los usuarios y la necesidad de capacitación inicial para socios con limitada experiencia digital. El sistema requiere además un período de transición gradual para asegurar la adopción completa por parte de todos los usuarios.

Los aportes principales del trabajo incluyen: (1) demostración de viabilidad económica excepcional en digitalización de cooperativas de servicios, (2) desarrollo de arquitectura escalable adaptable a cooperativas similares, y (3) implementación de interfaz específicamente diseñada para usuarios con limitada experiencia tecnológica.

Las líneas de investigación futuras incluyen:

Integración con Sistemas de Pago Digital: Implementación de pasarelas de pago online para permitir el pago directo de facturas desde la plataforma

Aplicación Móvil Nativa: Desarrollo de aplicación para dispositivos móviles con notificaciones push para vencimientos de facturas

Análisis Predictivo de Consumo: Implementación de algoritmos de machine learning para predicción de consumos y detección de anomalías

Integración IoT: Conexión con medidores inteligentes para lectura automática de consumos

Módulo de Atención al Cliente: Sistema integrado de tickets y chat en vivo para soporte técnico

Dashboard de Sustentabilidad: Herramientas para promover consumo responsable con comparativas y consejos personalizados

Estas extensiones permitirían una gestión aún más eficiente y proporcionarán valor agregado tanto para la cooperativa como para sus socios.

**Referencias**

[1] Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2016). Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Pearson.

[2] Sommerville, I. (2015). Software Engineering. Pearson.

[3] Pressman, R., & Maxim, B. (2014). Software Engineering: A Practitioner's Approach. McGraw-Hill Education.

[4] Microsoft Corporation. (2023). ASP.NET Documentation. https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/

[5] Oracle Corporation. (2023). MySQL 8.0 Reference Manual. https://dev.mysql.com/doc/

**Datos de Contacto:**

*Fiorella Ailen Fioravanti. Checoslovaquia 698, Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco. fiorellaailenfioravanti@gmail.com.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Detección de ataques epilépticos optimizado con Algoritmos Genéticos

Jeandrevin, Kimey - Melgarejo, Julia - Conti, Luca
*Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario*
*Cátedra de Algoritmos Genéticos*

**Abstract**
En este estudio se aplica algoritmos genéticos a algunos parámetros de un electroencefalograma (EEG) para que estos parámetros sean optimizados y se realice la lectura más certera de un encefalograma. Con estas lecturas se busca detectar patrones asociados a crisis epilépticas. Se explora la relación entre dinámica caótica y periodicidad en epilepsia. Los resultados muestran que la técnica permite distinguir actividad cerebral normal de la patológica con cierto margen de errores.

**Palabras clave** Algoritmos genéticos, encefalograma, canal, teoría del caos, cromosomas, población, optimización

## 1. Introducción

El cerebro puede ser afectado por una gran variedad de enfermedades, como el Parkinson, el Alzheimer, o crisis epilépticas, por ejemplo. Estas enfermedades afectan el funcionamiento cerebral lo cual modifica a su vez el resultado de los Electroencefalogramas a través de la aparición de patrones en la actividad neuronal. Sin la conducta caótica, el sistema neural no podría añadir conocimientos nuevos. El caos provee al sistema con un determinístico estado de ≪No se≫ dentro del cual se puede generar un nuevo patrón de actividad de este modo, genera posibilidades de variabilidad en los sistemas determinísticos (Andreu et al., 1998). Por ello se puede deducir que la aparición de patrones que reducen el caos en el cerebro puede llegar a ser el motivo de estas enfermedades neurodegenerativas.

### 1.1. Problema

¿Es posible desarrollar un algoritmo que permita detectar un ataque epiléptico mientras ocurre observando la actividad neuronal por medio de un electroencefalograma?

### 1.2. Objetivo General

Desarrollar un programa utilizando algoritmos genéticos que permita analizar la actividad cerebral en busca de algún comportamiento indicativo de un ataque epiléptico

## 2. Marco teórico

En esta sección se introducirán los conceptos teóricos fundamentales sobre los cuales se realizó esta investigación. Entre estos temas se encuentran Algoritmos Genéticos y su composición, la Teoría del Caos y su relación con los ataques epilépticos, el funcionamiento y composición de los encefalogramas y demás temas que se irán profundizando más adelante.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 2.1. Algoritmos Genéticos

### 2.1.1. Conceptos Generales

Los **Algoritmos Genéticos** son métodos adaptativos que se utilizan para resolver problemas de búsqueda y optimización, los cuales están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo que pasan las generaciones, las poblaciones evolucionan de acuerdos a los principios de la selección natural y supervivencia de los más fuertes. Por ello, estos métodos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real y que sean optimas depende, en gran parte, de una adecuada codificación.

Estos algoritmos consisten en una función matemática que toma como entrada a los ejemplares y retorna como salidas cuales de ellos van a generar la descendencia para la nueva generación. Son algoritmos que son independientes del problema, lo cual lo hace robusto, ya que se puede ser útil para cualquier problema, pero es débil a la vez, debido a que no está especializado en ninguno.

En un algoritmo genético, tras parametrizar el problema en una serie de variables, $(x_i,...,x_n)$ se codifican en un **cromosoma**. Se aplicará a cada uno de estos cromosomas, o sobre poblaciones de estos, todos los operadores utilizados por el algoritmo.

### 2.1.2. Funcionamiento de los Algoritmos Genéticos

Como se mencionó anteriormente, los algoritmos genéticos involucran una **función objetivo** sobre la cual debe encontrarse un mínimo o máximo según el problema que se haya planteado. Al conjunto de posibles soluciones lo llamaremos **espacio solución**. Cada elemento de ese espacio, llamado **cromosomas**, es una tira de **genes**.

Para iniciar, se requiere una **población inicial** de N cromosomas elegidos aleatoriamente. Estos cromosomas tienen en correspondencia los valores de la función objetivo, y además otros valores dado por la función **fitness**. Esta función puede coincidir con la función objetivo en algunos casos, pero en otros puede definirse de otra manera dependiendo del problema.

El proceso continua hasta que se obtiene otra población mejorada, con la misma cantidad N que la inicial.

Los pasos de estos algoritmos son:

1. Evaluar la función fitness en cada uno de los genes.
2. Permitir a cada uno de los individuos reproducirse, de acuerdo con su puntuación.
3. Emparejar los individuos de la nueva población, haciendo que intercambien material genético, y que alguno de los bits de un gen se vea alterado debido a una **mutación** espontanea.

Estos pasos consisten en aplicar operadores sobre las cadenas de bits. Estos operadores se los denomina **operadores genéticos**, donde hay 3 principales: selección, crossover y mutación.

Los parámetros que se deben fijar para que se ejecute el algoritmo son el tamaño de la población y la condición de terminación

### 2.1.3. Evaluación y selección de cromosomas

Durante la evaluación, se decodifica el gen, transformándose en una serie de parámetros de un problema, se obtiene la solución del problema en base a estos parámetros, y se le da una puntuación a dicha solución en función de lo cerca que este de la mejor solución, la cual se denomina **fitness**. Esta función determina siempre los cromosomas que se van a reproducir y quien van a ser eliminados mediante diferentes opciones. Una de las formas más habituales es usar el rango y hacer depender la probabilidad de permanencia o evaluación de la posición en el orden.

Una vez evaluado el fitness, se debe crear la nueva población teniendo en cuenta que los buenos rasgos de los mejores se transmitan hacia esta nueva población. Entonces se debe seleccionar individuos que se encarguen de esto,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



pudiendo ser seleccionados mediante diversos métodos tales como basado en el rango, rueda de ruleta o selección de torneo.

### 2.2. Teoría del caos

Se denomina Teoría del Caos a la rama de las matemáticas y la física que trata ciertos tipos de comportamientos impredecibles de los sistemas dinámicos. Estos sistemas hacen referencia a dos cuestiones: un espacio, o colección de estados del sistema y una dinámica o regla que describe cómo evolucionan los estados en el tiempo. El estudio sobre estos se basa en analizar cómo varían los estados, a través del tiempo.

La Teoría del Caos se centra en sistemas dinámicos caóticos, donde el sistema no es estable y las soluciones se mueven en torno a un punto del sistema de forma irregular, y una vez pasado el tiempo no son cercanas.

También en estos sistemas podemos ver como una muy pequeña variación en el flujo de datos puede ocasionar cambios importantes. Por ello podemos realizar una analogía con el "efecto mariposa", ya que este expresa que un pequeño aleteo de una mariposa puede ocasionar cambios de una gran magnitud, refiriéndose al aleteo de la mariposa como a un pequeño cambio en el flujo de datos.

Entonces, podemos decir, que esta teoría establece que pequeños cambios en las condiciones iniciales pueden terminar en grandes cambios en el resultado final, haciendo que la mayoría de los sucesos y sistemas no resulten predecibles.

Al estudiar sistemas tan complejos, la Teoría del Caos es aplicable en muchos campos distintos, como lo pueden ser la Biología, donde un caso de estudio puede ser la propagación de una, en la Física, donde se puede estudiar el movimiento de fluidos, o también se puede aplicar en la Medicina, que es el campo donde se centrara este trabajo de investigación.

#### 2.2.1. Relación entre la teoría del caos y la epilepsia

Una crisis epiléptica es un trastorno episódico producido por un mecanismo neurofisiológico específico: una anormal actividad ocasional y repetitiva de la sustancia gris cerebral. Entonces, la epilepsia se define por la repetición de crisis epilépticas.

Al no ser una enfermedad ni un síntoma, sino una condición, la epilepsia presenta cuadros evolutivos muy dispares, los cuales dependen de la encefalopatía causal. Entonces, con un diagnóstico de la epilepsia se establece el diagnostico de encefalopatía que ha presentado crisis epilépticas y cuya evolución natural va a ser volver a presentarlas.

Para poder realizar estos diagnósticos se requiere la realización de un electroencefalograma, la cual es una prueba medica que es capaz de detectar problemas en la actividad eléctrica del cerebro.

Se conoce que cuando se rompe el equilibrio transitorio de las membranas neuronales o potencial de membrana en reposo y se produce la despolarización que conduce a la génesis de un potencial de acción, se generan espigas que no siempre son ordenadas, periódicas o previsibles; sino que existen neuronas que disparan de manera irregular o caótica. Cuando se analiza la actividad eléctrica cerebral en los registros electroencefalográficos, se ha podido observar que en condiciones normales la actividad cerebral es aperiódica o caótica y que exhibe distintos grados de caoticidad, según el estado de sueño o vigilia. Sólo es periódica en el caso de un ataque epiléptico o cuando se induce la periodicidad mediante estímulos externos. (Lestayo O'Farrill y Hernández Cáceres, 2022)

### 2.3. Funcionamiento básico de un EEG

El electroencefalograma es una técnica no invasiva que mide la actividad eléctrica del cerebro a través de electrodos colocados sobre el cuero cabelludo. Su fundamento principal es que la actividad neuronal, especialmente de las neuronas piramidales de la corteza cerebral,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



genera corrientes iónicas que producen potenciales eléctricos extracelulares. Cuando miles de neuronas se activan de manera sincrónica, esas pequeñas corrientes se suman y se vuelven detectables en la superficie de la cabeza.

#### 2.3.1. Señal registrada

El EEG se expresa como una señal de voltaje variable en el tiempo, normalmente de baja amplitud (entre 10 y 100 microvoltios). No representa la actividad de una sola neurona, sino de redes corticales enteras. Estas señales se caracterizan por sus frecuencias dominantes, agrupadas en bandas clásicas:

- **Delta (0.5–4 Hz):** sueño profundo, procesos de inconsciencia.
- **Theta (4–8 Hz):** somnolencia, memoria, procesos emocionales.
- **Alfa (8–13 Hz):** reposo vigil, relajación con ojos cerrados.
- **Beta (13–30 Hz):** actividad mental, concentración, movimiento.
- **Gamma (>30 Hz):** integración de procesos cognitivos complejos.

#### 2.3.2. Interpretación teórica

El EEG puede considerarse como una ventana indirecta a la dinámica neuronal, donde lo que se observa no es un potencial puro de una neurona, sino la superposición de oscilaciones de millones de células corticales. Desde un punto de vista teórico:

- Refleja procesos de sincronización (cuando grupos de neuronas descargan juntas en ritmos lentos, como el sueño).
- También refleja procesos de desincronización (cuando la actividad se vuelve rápida e irregular, como en el estado de alerta).

Esa capacidad de capturar ritmos colectivos del cerebro lo convierte en una herramienta central para estudiar estados de conciencia, funciones cognitivas y desórdenes neurológicos como la epilepsia.

#### 2.3.3. Relación con aplicaciones computacionales

En aplicaciones de procesamiento de señales o algoritmos como los genéticos, el EEG se puede ver como una fuente de datos compleja y dinámica, donde se busca:

- Identificar patrones característicos de estados (ejemplo: crisis epilépticas).
- Diferenciar entre actividad basal y actividad anómala.
- Extraer parámetros cuantitativos (frecuencia, potencia, coherencia) que puedan usarse como entradas para modelos de clasificación o predicción.

Dichos datos se encuentran normalmente en archivos con extensión EDF o European Data Format. Esta extensión hace referencia a un formato estándar, libre y no propietario diseñado para el almacenamiento e intercambio de series de tiempo médicas.

#### 2.3.4. Contexto clínico y relevancia del EEG

El electroencefalograma es considerado una de las herramientas más útiles para el estudio de la epilepsia y otros trastornos neurológicos, debido a que permite registrar la actividad eléctrica cerebral de manera no invasiva, con bajo costo y alta resolución temporal. A diferencia de otras técnicas de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional (fMRI) o la magnetoencefalografía (MEG), el EEG ofrece la ventaja de capturar la dinámica neuronal en tiempo real, lo que resulta fundamental para la detección de crisis epilépticas. Su principal limitación es la baja resolución espacial, ya que las señales se registran desde el cuero cabelludo y reflejan actividad combinada de regiones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



corticales extensas. Aun así, su simplicidad y disponibilidad lo convierten en el método más extendido en la práctica clínica.

#### 2.3.5. Limitaciones y desafíos del EEG

Aunque el EEG es una herramienta poderosa, presenta varios desafíos prácticos que deben considerarse al diseñar sistemas de detección automática de crisis epilépticas:

- **Artefactos:** la señal EEG puede contaminarse fácilmente con interferencias externas (red eléctrica), movimientos musculares oculares (parpadeo, muecas) y actividad muscular (EMG), que generan picos o variaciones similares a las crisis.
- **Crisis muy frecuentes o breves:** cuando las crisis ocurren de manera repetida en intervalos cortos, la señal de "background"deja de representar un verdadero estado basal. Del mismo modo, las crisis demasiado cortas pueden no superar los umbrales mínimos de detección.
- **Diferenciación de patrones normales y patológicos:** en ciertos pacientes, algunas oscilaciones fisiológicas pueden imitar actividad ictal, lo que dificulta separar la actividad normal de la patológica usando únicamente criterios de energía.

### 2.4. Funcionamiento de un encefalograma aplicado a nuestro caso en estudio

#### 2.4.1. Medición y adquisición de actividad neuronal mediante EEG

El electroencefalograma registra diferencias de potencial producidas por la despolarización y repolarización sincrónica de grandes conjuntos de neuronas corticales. Un EEG de superficie no capta la actividad de una única neurona, sino la suma de poblaciones neuronales que se activan de manera relativamente simultánea; por eso, los eventos con mayor sincronía se reflejan como cambios de mayor amplitud en el trazado. Habitualmente se utilizan montajes de electrodos en cuero cabelludo que cubren las regiones frontales, temporales, parietales y occipitales.

Durante una crisis epiléptica, es frecuente observar un incremento marcado de la actividad eléctrica (p. ej., mayor .[en]ergía"del trazado) respecto del estado basal, lo que motiva enfoques de detección basados en energía de la señal (Iasemidis y Sackellares, 1996).

## 3. Desarrollo

El algoritmo de detección de ataques epilépticos consiste en varios pasos:
Primero se aplica un Low Pass Filter para atenuar las señales por encima de $F_{lo}$.
Luego se dividen las señales en ventanas "Background"de longitud $W_{bg}$ y en ventanas "Foreground"de longitud $W_{fg}$ donde $W_{bg} \gg W_{fg}$.
Una vez hecha esta división se procede a calcular el nivel de energía de las ventanas utilizando la formula

$$E(V_j) = \frac{1}{R_j - L_j + 1} \sum_{i=L_j}^{R_j} x^2(i)$$

donde $L_j$ y $R_j$ corresponde al inicio y al fin respectivamente de la j-ésima ventana $V_j$
Luego se calcula el ratio de energía entre las ventanas Foreground y las ventanas Background, la formula usada para este cálculo se divide en 2 casos:
El primero es cuando la ventana Foreground se encuentra completamente contenida por una única ventana Background en cuyo caso se utiliza la formula $Ratio = \frac{E_{fg}}{E_{bg}}$
El segundo caso es cuando el inicio de la ventana Foreground se encuentra contenido en la ventana Background número i mientras que el fin se encuentra contenido en la ventana número i+1 en cuyo caso se utiliza la formula $Ratio = \frac{E_{fg}}{(E_{bg_i} * ConA) + (E_{bg_{i+1}} * ConB)}$ donde $ConA = \frac{R_{bg_i} - L_{fg}}{R_{fg} - L_{fg} + 1}$ corresponde a la proporción de la ventana Foreground que se encuentra contenida en la ventana Background número i y $ConB = \frac{R_{fg} - L_{bg_{i+1}}}{R_{fg} - L_{fg} + 1}$ corresponde a la proporción de la ventana Foreground que se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



encuentra contenida en la ventana Background número i+1.
Luego de terminar de realizar este cálculo para todas las ventanas Foreground obtendremos como resultado una colección de valores donde cada valor corresponde unívocamente a una ventana y donde procederemos a calificar como intervalos potenciales a aquellos cuyo ratio de energía sea mayor que el $\tau_e$ % de los valores Una vez computados dichos intervalos procederemos a agrupar aquellos cuya distancia $D = L_{i+1} - R_i$ sea menor que $d$ segundos, además se descartaran todas las agrupaciones longitud total sea menor que $L_{min}$
Los procedimientos descritos anteriormente se realizan para cada canal del electroencefalograma de los cuales se obtiene como resultado final un set de ataques epilépticos detectados correspondiente a cada canal. Un ataque epiléptico será considerado para el set final si se detecta en por lo menos $\tau_c$ % de los canales, es decir, existe algún punto $x$ que se encuentra contenido en al menos $\tau_c$ % al mismo tiempo. Para poder calcular dichas intersecciones se utilizó la técnica de Sweep Line asignando un evento de entrada al inicio de cada intervalo, un evento de salida después del fin de cada intervalo y a que canal corresponde el mismo. Al hacer esto es posible recorrer los intervalos en orden e ir insertando a un set los canales que se están intersecando en ese momento. Si en alguno se tiene que $\frac{Longitud\ del\ set}{Cantidad\ de\ canales} \geq \tau_c$ entonces se inserta en el set final la mediana de todos los inicios y la mediana de todos los fines.
A lo largo de este procedimiento se han nombrado varios parámetros a los cuales no es posible asignarles valores de antemano. Con el fin de solucionar esto se hizo uso de un algoritmo genético que optimice la selección de estos.

### 3.1. Cromosomas

Los cromosomas consisten en un string binario de 35 bits utilizando codificación binaria tradicional. Los parámetros se encuentran codificados de la siguiente manera

- El valor de $F_{lo}$ será computado como $1 + x$ donde $x$ es el valor decimal de los primeros 6 bits por lo que $F_{lo} \in [1, 64]$ Hz
- El valor de $W_{fg}$ será computado como $0,5 * (x/2)$ donde $x$ es el valor decimal de los siguientes 4 bits por lo que $W_{fg} \in [0{,}5, 8]$ segundos
- El valor de $W_{bg}$ será computado como $60 * (1 + x)$ donde $x$ es el valor decimal de los siguientes 5 bits por lo que $W_{bg} \in [1, 32]$ minutos
- El valor de $\tau_e$ será computado como $100 - (x/10)$ donde $x$ es el valor decimal de los siguientes 6 bits por lo que $\tau_e \in [93{,}7, 100]$ %
- El valor de $d$ será computado como $1+x$ donde $x$ es el valor decimal de los siguientes 5 bits por lo que $d \in [1, 32]$ segundos
- El valor de $L_{min}$ será computado como $1 + x$ donde $x$ es el valor decimal de los siguientes 5 bits por lo que $L_{min} \in [1, 32]$ segundos
- El valor de $\tau_c$ será computado como $(1+x)/16$ donde $x$ es el valor decimal de los siguientes 4 bits por lo que $\tau_c \in [1/16, 1]$

### 3.2. Operadores Genéticos

La implementación utiliza una población de $P$ individuos y realiza torneos de tamaño N. En cuanto al operador de crossover se optó por utilizar un crossover de 1 Punto mientras que para el operador de mutación se utilizó una mutación Invertida.

### 3.3. Función Fitness

El objetivo del algoritmo es incrementar la precisión de la detección priorizando por encima de todo los falsos negativos, es decir, ataques epilépticos que ocurren pero no son detectados por el algoritmo de detección. En segundo lugar, se busca reducir los falsos positi-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



vos, es decir, ataques epilépticos que no ocurren pero que se detectan y por ultimo aumentar la precisión de los intervalos detectados, es decir, reducir el error $e = \sum(r_{ini} - d_{ini} + r_{fin} - d_{fin})$ donde $r_{ini}$ y $r_{fin}$ son el inicio y fin real del ataque epiléptico y $d_{ini}$ y $d_{fin}$ son el inicio y fin detectados.
Finalmente, la función fitness resultante es

$$f = (10^6 * FN) + (10^4 * FP) + e$$

donde un puntaje perfecto se correspondería a un valor igual a 0.

## 4. Ejecución

### 4.1. Datos

Los datos utilizados fueron obtenidos de la base de datos CHB-MIT Scalp EEG la cual cuenta con un conjunto de electroencefalogramas de pacientes epilépticos pediátricos proveniente del Children's Hospital Boston. Los datos se dividen en 23 grabaciones distintas provenientes de 22 pacientes (5 de sexo masculino entre 3 y 22 años y 17 de sexo femenino entre 1.5 y 19 años). Las señales fueron muestreadas a 256 Hz con una resolución de 16 bits.
En todas las grabaciones se cuenta con los intervalos de los ataques epilépticos detectados

### 4.2. Entorno de ejecución

Para la ejecución se utilizó una población de 30 de individuos a lo largo de 40 generaciones, un torneo de tamaño 3, una probabilidad de mutación de 5 %, una probabilidad de cruza de 75 % y un elitismo de 2 individuos.
Los datos utilizados para el entrenamiento corresponden a las grabaciones chb02, chb05, chb12, chb13.
Se utilizo Python junto a la librería MNE-Python (Gramfort et al., 2013) (Larson et al., 2025) para lectura de los archivos .edf correspondientes a las grabaciones además del módulo Concurrent.futures (Van Rossum y Drake, 2009) para paralelizar el análisis de las mismas.

### 4.3. Resultados

Luego de la ejecución los valores finales de los parámetros fueron $f_lo = 21Hz$, $W_{fg} = 5s$, $W_{bg} = 1320s$, $\tau_e = 97{,}3\,\%$, $d = 31s, L_{min} = 32s, \tau_c = 68{,}75\,\%$

| Paciente | TP | FN | FP | Horas | Paciente | TP | FN | FP | Horas |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| chb_01 | 7 | 0 | 5 | 40.55 | chb_13 | 1 | 11 | 3 | 33.00 |
| chb_02 | 0 | 3 | 3 | 35.27 | chb_14 | 0 | 8 | 0 | 26.00 |
| chb_03 | 2 | 5 | 3 | 38.00 | chb_15 | 0 | 20 | 0 | 40.01 |
| chb_04 | 2 | 2 | 10 | 38.00 | chb_16 | 0 | 10 | 2 | 19.00 |
| chb_05 | 5 | 0 | 7 | 39.00 | chb_17 | 0 | 3 | 2 | 21.01 |
| chb_06 | 0 | 10 | 11 | 66.74 | chb_18 | 1 | 5 | 0 | 35.63 |
| chb_07 | 3 | 0 | 16 | 67.05 | chb_19 | 2 | 1 | 0 | 29.63 |
| chb_08 | 4 | 1 | 4 | 20.01 | chb_20 | 0 | 8 | 0 | 27.60 |
| chb_09 | 3 | 1 | 27 | 67.87 | chb_21 | 0 | 4 | 0 | 39.83 |
| chb_10 | 3 | 4 | 1 | 50.02 | chb_22 | 0 | 3 | 3 | 31.00 |
| chb_11 | 0 | 3 | 1 | 34.79 | chb_23 | 3 | 4 | 8 | 26.56 |
| chb_12 | 0 | 40 | 1 | 23.69 | chb_24 | 2 | 14 | 2 | 22.00 |

Cuadro 1: Resultados

## 5. Conclusión

A pesar de darle más importancia a los Falsos Negativos en la función objetivo es posible apreciar como para algunas grabaciones la cantidad de los mismos sigue siendo demasiado alta como por ejemplo en la chb12, a pesar de que el mismo fue usado en el entrenamiento de los parámetros.
En cambio, para otras grabaciones, como la chb01, la cantidad de Falsos Negativos es 0 y con una tasa baja de Falsos Positivos.
Es posible que esta diferencia se deba a la tasa de ataque epilépticos que sufre el paciente, donde en el caso de ser la misma demasiado alta se ve perturbada la distribución estadística de los posibles intervalos de ataques epilépticos.
También hay casos donde los Falsos Negativos son bajos pero los Falsos Positivos son demasiado altos como por ejemplo la grabación chb09.
Algunas propuestas para solucionar estos problemas son:

- Modificar la función fitness: Con el propósito de reducir la diferencia entre los Falsos Positivos y los Falsos Negativos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Aumentar la cantidad de generaciones del algoritmo genético: Uno de nuestros limitantes a la hora de ejecutar el algoritmo fue la capacidad del procesador, mejorando esto sería posible aumentar la paralelización del análisis permitiendo así incrementar el número de generaciones sin afectar demasiado al tiempo de ejecución
- Diferenciar tipo de pacientes: Realizar una clasificación de los pacientes según la frecuencia de los ataques y desarrollar un conjunto de parámetros para cada uno podría arrojar mejores resultados que el intentar obtener un conjunto universal para todos los pacientes, sin embargo, esto traería el inconveniente de tener que realizar un análisis preliminar a cada nuevo paciente para identificar su frecuencia. Además, habría que definir también las distintas clasificaciones.

## 6. Trabajos relacionados

Esta investigación está basada en *Optimizing EEG Energy-based Seizure Detection using Genetic Algorithms* (Baldominos & Ramón-Lozano, 2017). En dicha investigación se utiliza el mismo acercamiento para la detección de ataque epilépticos, aunque se añade el uso de un High Pass Filter para señales por encima de $F_{hi}$. Además, el entrenamiento del algoritmo es realizado con las grabaciones chb01, chb02, chb03 y en la función fines le dan la misma importancia a los Falsos Negativos que a los Falsos Positivos. Por último, para los cromosomas utilizan Código Gray para la codificación binaria de los parámetros.

## Referencias

Andreu, C., De Echave, J., & Casal, G. B. (1998). Actividad electroencefálica según la teoría del caos. *Psicothema*, *10*(2), 319-331.

Baldominos, A., & Ramón-Lozano, C. (2017). Optimizing EEG energy-based seizure detection using genetic algorithms. *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2338-2345.

Gramfort, A., Luessi, M., Larson, E., Engemann, D. A., Strohmeier, D., Brodbeck, C., Goj, R., Jas, M., Brooks, T., Parkkonen, L., et al. (2013). MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroinformatics*, *7*, 267.

Iasemidis, L. D., & Sackellares, J. C. (1996). REVIEW: Chaos Theory and Epilepsy. *The Neuroscientist*, *2*(2), 118-126.

Ingolfsson, T. M., Benatti, S., Wang, X., Bernini, A., Ducouret, P., Ryvlin, P., Beniczky, S., Benini, L., & Cossettini, A. (2024). Minimizing artifact-induced false-alarms for seizure detection in wearable EEG devices with gradient-boosted tree classifiers. *Scientific reports*, *14*(1), 2980.

Larson, E., Gramfort, A., Engemann, D. A., Leppakangas, J., Brodbeck, C., Jas, M., Brooks, T. L., Sassenhagen, J., McCloy, D., Luessi, M., King, J.-R., Höchenberger, R., Brunner, C., Goj, R., Favelier, G., van Vliet, M., Wronkiewicz, M., Rockhill, A., Appelhoff, S., & user27182. (2025). *MNE-Python* (Ver. 1.10.1) [[Computer software]]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.16794835

Lestayo O'Farrill, Z., & Hernández Cáceres, J. L. (2022). Aplicaciones de la Teoría del caos en medicina. *Revista Cubana de Informática Médica*, *14*(2).

Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Machine Learning y su vinculación con Algoritmos Genéticos para la planificación óptima de cultivos

**Mondino, Juan Cruz - Giampietro, Gustavo - Mateo, Alexis**

***Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario***

**Resumen**

La planificación espacial de cultivos presenta alta incertidumbre por variabilidad climática, heterogeneidad edáfica y volatilidad de precios. Este trabajo propone un enfoque híbrido que integra aprendizaje automático (ML) en la función objetivo de un algoritmo genético (AG) para asignar superficies entre siete cultivos (girasol, soja, maíz, trigo, sorgo, cebada, maní), maximizando el ingreso esperado. El pipeline combina: series históricas y proyecciones a 14 meses de variables climáticas (temperatura, humedad, viento, precipitación), atributos de suelo por departamento, y precios por tonelada por cultivo. A partir de estas fuentes, se entrena un modelo supervisado para estimar rendimiento (ton/ha) y se incorpora esa señal económica (rendimiento por precio) en el fitness del AG. Presentamos la arquitectura del sistema, decisiones de diseño y operadores evolutivos (selección por ruleta/torneo, cruce de 1 punto, mutación del tipo swap y elitismo). Los resultados preliminares muestran convergencia estable y asignaciones coherentes con el escenario agroclimático proyectado, evidenciando la utilidad de la sinergia ML-AG para decisiones agrícolas robustas.

**Palabras Clave**

Algoritmos genéticos - Aprendizaje automático - Predicción climática - Optimización agrícola - Rendimiento de cultivos

## 1. Introducción

En los últimos años, la evolución de la capacidad de cómputo ha permitido la modelización de diferentes escenarios del mundo físico. En este trabajo se busca aprovechar dicha evolución para encontrar soluciones óptimas al evaluar múltiples características de la planificación agrícola en el contexto de la Argentina.

En este marco, los **algoritmos genéticos (AG)**, por su capacidad para abordar problemas de optimización con múltiples variables y restricciones, permiten explorar configuraciones eficientes en sistemas agrícolas diversificados. Por su parte, con **técnicas de *machine learning*** se pueden obtener modelos predictivos entrenados sobre datos históricos, útiles para anticipar el comportamiento de los sistemas bajo las diferentes situaciones posibles en la agricultura.

La articulación entre ambos enfoques —optimización evolutiva y predicción basada en datos— permite avanzar hacia modelos de planificación agrícola más adaptables y contextualizados. Este trabajo explora dicha integración, con el objetivo de contribuir al desarrollo de soluciones computacionales que apoyen la toma de decisiones en unidades productivas reales, contemplando tanto la eficiencia como la sustentabilidad del sistema.

Cabe señalar que, en el presente trabajo, se ha decidido acotar deliberadamente el alcance del modelo propuesto. En particular, se omiten variables relacionadas con la incidencia de enfermedades, la presencia de plagas y los niveles de contaminación ambiental o química. Esta decisión metodológica responde a la necesidad de abordar inicialmente la problemática desde una perspectiva simplificada, que permita focalizar el análisis en aspectos estructurales de la planificación agrícola, tales como la selección de cultivos, la distribución espacial y temporal, y la consideración de factores geográficos y climáticos.

### 1.1. Situación problemática

En el contexto actual de la agricultura argentina, la planificación eficiente de la producción se ha vuelto una tarea cada vez más compleja. Esta planificación no solo abarca la selección de cultivos, sino también su disposición espacial dentro de las parcelas. Las decisiones en torno a estos aspectos deben considerar si-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



multáneamente múltiples factores: las características del suelo, la variabilidad climática, la disponibilidad de agua y las condiciones económicas del entorno productivo.
Pese a esta complejidad, en muchos casos las decisiones agronómicas aún se toman con base en la experiencia previa del productor o en recomendaciones generales que no captan las particularidades de cada parcela ni se adaptan dinámicamente a condiciones cambiantes. Esto puede derivar en subutilización del potencial productivo, manejo ineficiente de recursos (especialmente agua y nutrientes del suelo) y pérdida de sustentabilidad del sistema agropecuario en el largo plazo.

### 1.2. Problema

¿Cómo aplicar modelos de machine learning combinados con algoritmos genéticos para optimizar la planificación agrícola, considerando variables interdependientes como clima, suelo y siembra de diferentes semillas en simultáneo?

### 1.3. Objetivo General

Desarrollar un modelo de optimización para la planificación espacial de cultivos en parcelas agrícolas, utilizando algoritmos genéticos y técnicas de machine learning.

### 1.4. Objetivos Específicos

- Construir un pipeline de datos: clima mensual histórico y proyectado; suelo por departamento; precios por tonelada.
- Definir la función objetivo económica (ingreso esperado) e integrarla en el AG.
- Desarrollar una interfaz GIS para capturar área y ubicación del campo.
- Realizar el ajuste de hiperparámetros de cada modelo de red neuronal para que el entrenamiento se ajuste a los datos de la mejor manera.
- Entrenar modelos de ML para estimar rendimiento (ton/ha) por cultivo bajo clima proyectado.
- Combinar el algoritmo genético con las redes neuronales para que, mediante las predicciones de éstas últimas, el AG pueda optimizar la utilización del área seleccionada.

## 2. Marco Teórico

El prototipo se basa en una lista de siete cultivos principales (soja, maíz, trigo, maní, sorgo, cebada y girasol), seleccionados por la disponibilidad y consistencia de datos provenientes de fuentes confiables como la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca [2] y la Bolsa de Cereales de Córdoba [1]. Estas ofrecen series históricas y precios actualizados por tonelada. La recopilación se automatizó mediante web scraping, por lo que se priorizaron fuentes con tablas consolidadas de varios cultivos, garantizando la normalización y trazabilidad de los datos.
El área de estudio se define mediante GIS, donde el usuario delimita la parcela. A partir de la geometría se validan los polígonos, se calcula la superficie ($m^2$/ha) y se determina el departamento para vincular las propiedades del suelo. Este enfoque espacial asegura que las variables climáticas y edáficas reflejen fielmente la ubicación del lote.
Las proyecciones climáticas se generan con dos modelos complementarios: LSTM [10][11] para variables secuenciales (temperatura y humedad) y Gradient Boosting Regressor (GBR) [6][7][12] para variables no lineales (viento y precipitación). Ambos predicen 14 meses hacia adelante, combinando sus resultados con atributos de suelo por departamento para conformar el dataset de rendimiento esperado. Finalmente, esos rendimientos se multiplican por los precios obtenidos vía web scraping para construir la función objetivo económica del algoritmo genético, que optimiza la asignación de hectáreas entre los cultivos. Los datos climáticos provienen de la API NASA POWER [3].

### 2.1. Web scraping

El web scraping es la extracción automatizada de información publicada en sitios web para convertirla en datos estructurados. En nuestro caso, se lo utiliza para obtener precios por to-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



nelada de los cultivos analizados desde páginas que publican varios cultivos en una misma vista. Esta condición es clave para que la extracción sea estable, rápida y normalizable de forma diaria. Por este motivo, no se recuperarn precios de cualquier cultivo arbitrario ni de páginas con formatos cambiantes: se restringe a fuentes confiables con estructura uniforme (p. ej., pizarras/reportes de bolsas regionales).

### 2.2. LSTM

Las redes neuronales recurrentes (RNN)[11] están diseñadas para modelar secuencias (series temporales, lenguaje, señales). Las RNN "simples" suelen sufrir desvanecimiento/explosión del gradiente al intentar capturar dependencias de largo plazo. Para mitigar este problema, Hochreiter y Schmidhuber[10] introdujeron las Long Short-Term Memory (LSTM): celdas con estado interno y tres compuertas (entrada, olvido, salida) que regulan qué información se incorpora, qué se olvida y qué se expone en cada paso. Matemáticamente, estas compuertas se implementan con activaciones sigmoide (para filtrar la información importante) y tangentes hiperbólicas (para obtener un resumen de la información). Por su capacidad de retener contexto, las LSTM son ampliamente usadas en predicción de series temporales con estacionalidad y dependencias de media y larga duración.
Generar proyecciones climáticas de hasta 14 meses a futuro. Estas proyecciones alimentan el dataset de rendimiento por cultivo y, en consecuencia, la función objetivo del algoritmo genético.

#### 2.2.1. Formación de secuencias

A partir de la serie mensual, se construyen ventanas deslizantes: un bloque histórico reciente (longitud $\omega$) se usa como entrada y la red aprende a predecir $H = 14$ meses hacia adelante. Una vez predicho el valor del mes próximo se lo agrega al bloque histórico de longitud $\omega$ como el valor del último mes, y se elimina el valor del primer mes; de esta forma es como se va "deslizando"la ventana de valores y se puede predecir el valor correspondiente al mes siguiente del próximo. Este método se repite hasta obtener los valores de los 14 meses siguientes al actual.

#### 2.2.2. Arquitectura y entrenamiento

- **Arquitectura**: 1–2 capas LSTM seguidas de una capa densa con $H$ neuronas (una por mes futuro).
- **Pérdida y métricas**: entrenamiento con el promedio del cuadrado del error (MSE)[4][5].
- **Early stopping**: es una técnica de regularización que interrumpe el entrenamiento de una red neuronal cuando el error en un conjunto de validación deja de mejorar, para controlar sobreajuste.
- **Reproducibilidad**: semillas fijas, registro de versiones y esquema de columnas persistente.

#### 2.2.3. Salida e integración

El modelo devuelve, para cada variable (temperatura y humedad), un vector de 14 meses proyectados. Estas proyecciones se ensamblan con:

- Datos del suelo por departamento.
- Los datos del cultivo.
- Los climáticos restantes que predicen dos modelos diferentes de GBR (explicados más adelante).

Con ello se forma el conjunto de características que consume el modelo de rendimiento (ton/ha) por cultivo. Luego, el algoritmo genético combina esas tasas con la superficie propuesta para predecir las toneladas que se esperan cosechar. Estas toneladas se multiplican por los precios para calcular el ingreso esperado y optimizar la asignación de hectáreas.

### 2.3. GBR

El Gradient Boosting Regressor (GBR)[7][12] es un método de aprendizaje supervisado basado en boosting[6]. La idea central es construir un modelo aditivo fuerte sumando, de manera secuencial, varios modelos de redes neuronales débiles, pero, a su vez, más flexibles. En este caso se utilizan árboles de de-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cisión poco profundos[8][9] (aprendices débiles). En cada iteración, el nuevo árbol se ajusta para corregir los errores del ensamble: formalmente, se avanza en la dirección del gradiente negativo de la función de pérdida (p. ej., MSE[4][5] en regresión). Con una tasa de aprendizaje pequeña (es el tamaño del paso con que se actualizan los parámetros en cada iteración del entrenamiento) y varios estimadores (`n_estimators`), el modelo captura no linealidades e interacciones de forma efectiva, controlando el sobreajuste con hiperparámetros como la cantidad máxima de ramas que tendrá cada árbol (`max_depth`) y la cantidad mínima de hojas que debe tener (`min_samples_leaf`).

En la proyección climática para variables como la velocidad del viento y precipitaciones, al menos en período mensuales, tienden a perder la secuencialidad y volverse variables aleatorias. Se empieza de la serie diaria obtenida mediante API NASA POWER[3], se transforma dichos datos a meses y se construye una columna para representar el valor obtenido en el mes anterior, indicando que el valor de tal mes depende de cuánto se obtuvo en el mes previo (se le simula secuencialidad). Con ese set el GBR produce un vector de 14 meses futuros por variable.

También, el modelo principal de predicción de toneladas por cultivo es GBR, pero para su entrenamiento se utiliza un dataset con los valores historicos de cada semilla, con los datos del suelo de cada departamente y los datos climáticos previos. El GBR aprende la relación no lineal para que cuando se le pase los datos de las semillas a predecir más los datos del clima a futuro, pueda predecir las toneladas esperadas por semilla.

#### 2.3.1. Validación y métricas

Durante el entrenamiente se monitoriza el MSE[5] y se aplica early stopping sobre validación para que no haya un sobreajuste.

#### 2.3.2. Integración de RN en AG

El GBR climático produce datos de viento y precipitaciones para los 14 meses proyectados. Esas proyecciones se ensamblan con temperatura y humedad proyectadas (LSTM), datos del suelo por departamento y cultivo codificado, para construir el feature set del modelo de rendimiento. El GBR de rendimiento devuelve las toneladas cosechadas por cultivo. Luego, el AG calcula la FO económica con $toneladas_i \times precio_i$ y optimiza la asignación de hectáreas.

## 3. Metodología

El proyecto busca determinar la distribución óptima de siembra en una parcela dada, maximizando la rentabilidad del productor a partir de precios de mercado y rendimiento esperado bajo clima proyectado. A continuación se detalla la obtención de datos, con el nivel de información necesario para su reproducción.

### 3.1. Utilización del GIS

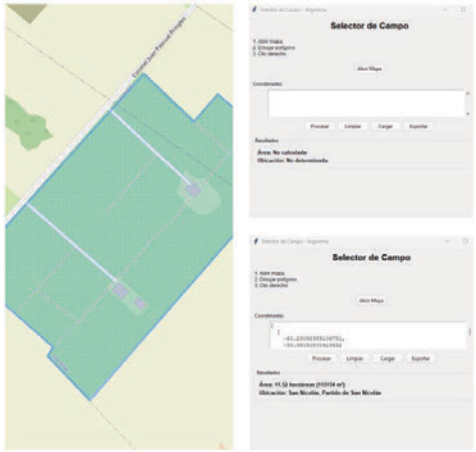



Figura 1: *Pantalla de interacción con el usuario del selector de campo.*

Al iniciar el sistema, el usuario delimita la parcela sobre un mapa interactivo (GIS) dibujando un polígono. Con la selección confirmada, el sistema calcula el área en hectáreas. Luego, se determina departamento mediante el cálculo del centroide (centro geométrico de un objeto) del polígono.

Los datos recuperados por la aplicación de la Figura 1 permiten unir atributos de suelo por departamento y parametrizar la descarga cli-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mática por las coordenadas (latitud y longitud) del centroide.

### 3.2. Recuperación y procesamiento de datos

Con el centroide, se consultan series mediante la API NASA POWER [3]. Se descargan registros diarios y se los tranforma a promedios mensuales para construir el histórico en el sitio de estudio. Las variables estudiadas son temperatura, humedad, viento y precipitaciones.
Los datos de las semillas y los suelos son recuperados de las APIs proporcionadas por el gobierno de la nación[4], luego los archivos fueron trabajados mediantes merges e inner joins (formas de unir las tuplas de entre tablas de archivos), por departamento, nombre de cultivo o año, para tener toda la información necesaria para entrenar el modelo. Luego se realiza una depuración de las columnas y las tuplas (filas) que contengan datos faltantes, ya que interfieren en la utilización de redes neuronales. Esto se debe a que éstas, en resumen, son relaciones entre parámetros que no se pueden formar si es que hay faltante de uno de ellos.
Además, es necesario transformar el nombre de los cultivos a valores numéricos enteros, ya que el GBR no interpreta cadenas de caracteres. La transformación fue posible mediante la creación de un diccionario, el cual traduce cada nombre de cultivo a un valor entero.
Los precios son recuperados diariamente mediante web scraping. Gracias a esto se puede trabajar con valores contemporáneos de precios por toneladas.

### 3.3. Modelado y proyección climática

Se emplean dos familias de modelos, según la naturaleza de la variable:

- **LSTM** para temperatura y humedad.
- **GBR** para viento y precipitaciones, se toma el dato del mes anterior para predecir el del actual.

Ambos modelos generan vectores de 14 elementos, uno por cada mes predicho, por variable y se persisten como artefactos para reutilización (evitando reentrenar).

### 3.4. Ejecución del algoritmo genético

El AG opera sobre siete cultivos. Cada individuo es un vector real de longitud 7, donde cada elemento del vector (o gen) corresponde a las hectáreas a sembrar por cultivo, sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{7} x_i = A \quad \text{y} \quad x_i \geq 0, \tag{1}$$

donde $A$ es el área total de la parcela recuperada por el GIS.
Operadores y parámetros:

- **Inicialización**: población aleatoria.
- **Selección**: torneo o ruleta.
- **Cruce**: 1 punto.
- **Mutación**: del tipo swap, es decir, se intercambian dos genes al azar.
- **Elitismo**: conservación de las mejores soluciones.

#### 3.4.1. Función objetivo

Para cada individuo se arma, por cultivo, una fila de inferencia con cultivo codificado, datos del suelo y clima proyectado. El modelo de rendimiento devuelve las toneladas de esa semilla que se esperarían cosechar. Esas toneladas ($\hat{r}_i$) se multiplican por el precio por tonelada para cada semilla ($p_i$). Ahora se tiene un vector con la ganancia que produce cada semilla para ese individuo, por lo tanto, se suman las ganancias y se obtiene una ganancia total, que se utiliza como valor objetivo del individuo. Dicho valor es el que se busca maximizar a lo largo de las generaciones.

$$\text{FO} = \sum_{i=1}^{7} (\hat{r}_i\,[\text{ton}] \times p_i\,[\$/\text{ton}]) \tag{2}$$

## 4. Resultados

En esta sección se reportan los resultados de la evaluación predictiva (clima y rendimiento) y de la optimización con el algoritmo genético.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 4.1. Modelos climáticos

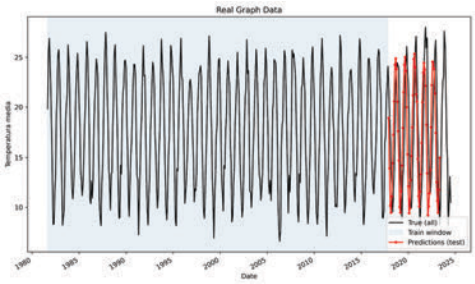



Figura 2: *Temperatura media: real vs. predicho (test), $H = 14$.*

En la Figura 2 se representa con un fondo sombreado los datos que son utilizados para el entrenamiento del modelo LSTM que predice la temperatura media en grados celsius. Luego, en rojo, están graficados los valores obtenidos mediante predicciones realizadas con los valores reales (gráfica con línea negra) que "no habia visto nunca.[es] decir con valores que no fueron utilizados para entrenarlo. Como se puede observar las predicciones son bastante fieles a los valores reales.

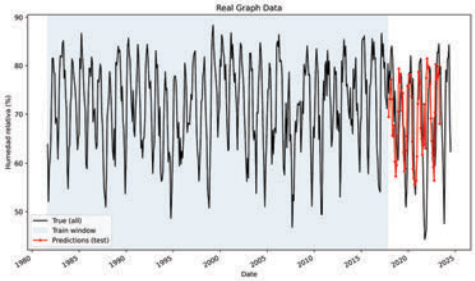



Figura 3: *Humedad relativa: real vs. predicho (test), $H = 14$.*

Al igual que en la Figura 2, en la Figura 3 se puede apreciar que se utiliza la primer gran parte de datos para el entreno de este modelo, y el último 15 porciento se lo destina al testeo del mismo. Para la misma forma de entrenamiento, ahora, los valores predichos no son tan fieles a los valores reales, esto se da que por más que los hiperparámetros hayan sido de mucha ayuda para el primer modelo, para éste puede que se necesite otra combinación de valores.

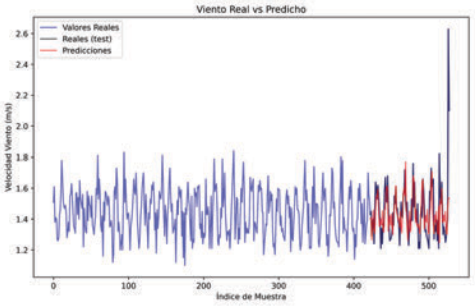



Figura 4: *Viento: real vs. predicho (test), $H = 14$.*

En la Figura 4, ya se observa la predicción con menos error entre las realizadas (las lineas rojas son las predicciones y la azul los datos reales). Ésta corresponde a la red neuronal GBR, la cual no se basaba en la secuencia de datos para predecir.

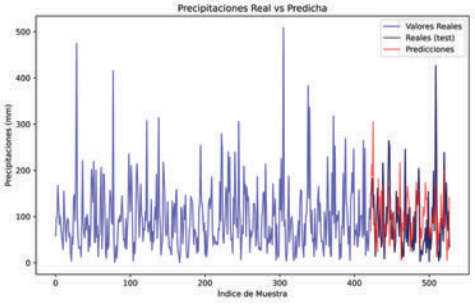



Figura 5: *Precipitación: real vs. predicho (test), $H = 14$.*

La Figura 5 es representación de que por más que se hayan utilizado los mismos hiperparámetros que para el modelo GBR mencionado en la Figura 4, ya sea por la unidad de medición o por una diferente distribución de datos, se realizó una predicción no tan convincente como las anteriores. Esto se soluciona con varias horas de procesamiento realizando un Hyperparameter Tunning.

### 4.2. Modelo de rendimiento

Anteriormente se realizó hincapié en la importancia de la correcta creación de los archivos con datos de entrada y salida para que el mo-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



delo principal sea entrenado una sola vez. Esto es lo que se busca para acortar los tiempos de uso del sistema, si no tardaría horas por cada corrida.

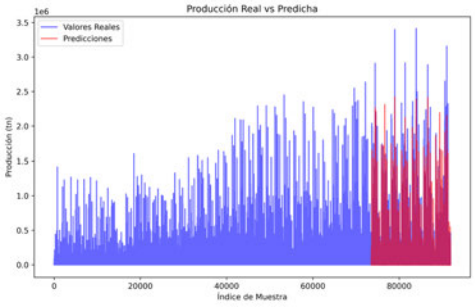



Figura 6: *Producción: real vs. predicha en el conjunto de test.*

La Figura 6 contrasta la producción estimada con la serie real. El modelo reproduce las variaciones de escala y la tendencia general; las discrepancias locales se asocian a picos de precipitación y a la variabilidad interanual.

### 4.3. Optimización con AG

A continuación se pordrán observar los resultados obtenidos luego de 1000 corridas del AG.

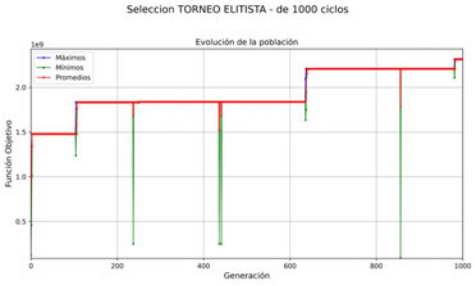



Figura 7: *Convergencia del algoritmo genético: mejor/promedio/peor por generación.*

La Figura 7 muestra la evolución de la población de individuos y cómo ésta va mejorando, es decir un mayor valor de la función objetivo, a medida que pasan más iteraciones. Como es una corrida elitista, donde los mejores individuos se saltean el proceso de combinación y el de mutación, éstos no se pierden. Los demás individuos si sufren estos cambios y es por ello que se observan picos descendentes verdes. La linea verde corresponde a los individuos con menor valor de FO, la azul a los máximos y la roja al promedio de la población.

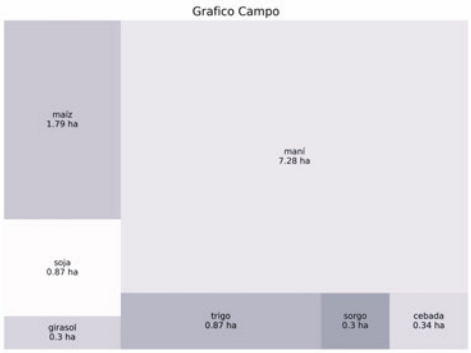



Figura 8: *Distribución de hectáreas por cultivo en la solución final (treemap).*

La solución final se resume en la Figura 8, que presenta la distribución de hectáreas por cultivo del mejor individuo alcanzado en la última iteración. En la corrida base, el maní domina la asignación, seguido por maíz, con menores áreas para trigo, soja, sorgo, cebada y girasol, consistente con el ingreso esperado dado el rendimiento estimado y los precios vigentes.

## 5. Conclusión y Trabajos Futuros

El trabajo abordó la planificación agrícola integrando predicciones climáticas, modelos de aprendizaje automático y algoritmos genéticos para optimizar la distribución espacial de cultivos. Esta combinación permitió representar de forma más realista la interacción entre factores de suelo, clima y economía, estableciendo una base para una planificación flexible y adaptativa.

Los resultados evidencian que las predicciones climáticas y los modelos de machine learning mejoran la estimación de rendimientos, mientras que los algoritmos genéticos optimizan la asignación de cultivos según el ingreso esperado. La interfaz GIS aporta un componente práctico al vincular el modelo con el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



usuario final.

La principal limitación fue la falta de datos económicos detallados para ciertos cultivos, lo que restringió la evaluación completa de alternativas productivas. En futuros desarrollos se propone ampliar la base de datos con precios históricos, costos e indicadores ambientales, e incorporar enfoques multiobjetivo que integren criterios económicos, sociales y ecológicos.

En síntesis, el estudio demuestra el potencial de la inteligencia artificial y la optimización para mejorar la toma de decisiones en el agro, aunque resalta que la calidad y disponibilidad de los datos —especialmente los económicos— son claves para lograr recomendaciones precisas y sostenibles.

**Agradecimientos**

Agradecemos profundamente a la cátedra de Algoritmos Genéticos, conformada por la Ing. Daniela Díaz y el Ing. Víctor Lombardo; sin ellos este proyecto de investigación no se hubiese podido llevar a cabo.

Además, agradecemos a los compañeros Berli, Nahuel y Jaca, Juan Pablo, por su colaboración y apoyo en el desarrollo del proyecto; y a los profesores Lic. Castagnino, Mario e Ing. Torres, Juan Ignacio, quienes, pese a pertenecer a otra cátedra, nos brindaron herramientas y conocimientos fundamentales que contribuyeron significativamente al proceso de codificación y al resultado final del trabajo.

## Referencias

[1] Bolsa de Cereales de Córdoba. (s. f.). *Todas las pizarras*. Recuperado de https://www.bccba.org.ar/todas-las-pizarras/

[2] Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca. (s. f.). *Informes*. Recuperado de https://www.bcp.org.ar/informes.asp

[3] NASA. (2025). *POWER Data Access Viewer (API)*. Recuperado de https://power.larc.nasa.gov/

[4] Datos Argentina. (2025). *Datasets de semillas, departamentos y suelos argentinos*. Recuperado de https://datos.gob.ar/dataset

[5] Amrane, S. (2025, 26 de enero). *mse, mae, rmse, r² in regression : which regression performance metric should you choose?* Recuperado de https://sirineamrane.medium.com/mse-mae-rmse-r%C2%B2-in-regression-which-performance-metric-should-you-choose-199c13e7a5b4

[6] scikit-learn. (2025). *Ensembles: Gradient boosting, random forests, bagging, voting, stacking*. Recuperado de https://scikit-learn.org/stable/modules/ensemble.html

[7] Neptune.ai. (2025). *Gradient Boosted Decision Trees (Guide): A Conceptual Explanation*. Recuperado de https://neptune.ai/blog/gradient-boosted-decision-trees-guide

[8] Toprak, M. (2020). *Gradient Boosting and Weak Learners*. Recuperado de https://medium.com/@toprak.mhmt/gradient-boosting-and-weak-learners-1f93726b6fbd

[9] Machine Learning Mastery. (2021). *Strong Learners vs. Weak Learners in Ensemble Learning*. Recuperado de https://machinelearningmastery.com/strong-learners-vs-weak-learners-for-ensemble-learning/

[10] Hochreiter, S., y Schmidhuber, J. (1997). *Long Short-Term Memory*. Neural Computation, 9(8), 1735–1780. Recuperado de https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735

[11] Le, X.-H., Ho, H. V., Lee, G., y Jung, S. (2019). *Application of Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Network for Flood Forecasting*. Water, 11(7), 1387. Recuperado de https://doi.org/10.3390/w11071387

[12] Clark, B., y Lee, F. (s. f.). *What is Gradient Boosting?* IBM. Recuperado de https://www.ibm.com/think/topics/gradient-boosting

**Datos de Contacto**

*Juan Cruz Mondino, 3364592427, juancm.2000@hotmail.com*
*Gustavo Giampietro, 3364402114, gustgiam2001@gmail.com*
*Alexis Mateo, 3416397008, alexisjoelmateo@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ADAPTACIONES NECESARIAS DE UN SITIO WEB PARA LA USABILIDAD DE PERSONAS MAYORES

**Dubini, Thiago - Esquivel, Catriel - Fagundez, Joel Eduardo - Farias, Tiziano Benjamín - Felgueroso Camporro, Astur - Fernández, María Florencia**

***Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)***

**Abstract**

*Este trabajo tiene como objetivo analizar la accesibilidad y la usabilidad de los sitios web en relación con las personas mayores, un grupo etario que, por cambios físicos y cognitivos asociados al envejecimiento, enfrenta dificultades particulares en el uso de las tecnologías digitales. Para ello, se presentaron los conceptos fundamentales de accesibilidad y usabilidad web, se identificaron las principales barreras que afectan la experiencia de los adultos mayores y se aplicó una encuesta con el fin de conocer sus hábitos de uso, obstáculos y preferencias en la navegación. A partir de los resultados, se definieron principios de diseño centrados en este grupo, tales como el uso de lenguaje simple, la posibilidad de solicitar ayuda, entre otras. Finalmente, se evaluaron casos reales de sitios web de uso frecuente en Argentina (ANSES, Banco Nación y Facebook), lo que permitió identificar fortalezas y debilidades en términos de inclusión digital.*

*El análisis muestra que, si bien existen avances, todavía continúan barreras que limitan la autonomía de las personas mayores en entornos digitales.*

*El beneficio de este estudio se basa en aportar conocimientos que contribuyan a la construcción de interfaces inclusivas y usables, capaces de mejorar la experiencia digital de los adultos mayores y garantizar su participación plena en la sociedad conectada.*

**Palabras Clave**

Accesibilidad Web, Usabilidad Web, Adultos Mayores, Sitios Web.

## Introducción

El avance constante de las tecnologías de la información ha generado una creciente dependencia de los sitios web para realizar trámites, acceder a servicios y comunicarse, convirtiéndolos en una herramienta esencial para la vida cotidiana. Sin embargo, no todos los grupos etarios acceden en igualdad de condiciones a estas plataformas. Las personas mayores, en particular, enfrentan barreras de usabilidad, lo que contribuye a una brecha digital que limita su inclusión en la sociedad.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo (realizado en el contexto de la materia “Sistemas y Procesos de Negocio”, primer año de cursada) es identificar las principales dificultades que enfrentan los adultos mayores al interactuar con sitios web, y proponer adaptaciones de diseño que deban considerarse para mejorar su experiencia de usuario.

El interés en investigar este tema radica en la necesidad de promover un acceso más equitativo a los sitios web, teniendo en cuenta el aumento del número de personas mayores que los utilizan en su día a día. Reflexionar sobre estos aspectos desde las etapas iniciales de la formación como Ingenieros en Sistemas de Información fomenta la concientización sobre el desarrollo de tecnologías accesibles para todos los usuarios.

Para cumplir con dicho objetivo, el artículo se estructura de la siguiente manera: en la primera sección, se definen los conceptos generales de accesibilidad y usabilidad web, y la relación entre ellos. En la segunda sección, se dan a conocer las dificultades presentadas al interactuar con las tecnologías, y se presentan encuestas realizadas a personas mayores para conocer su experiencia actual. En la tercera sección,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



se desarrollan los principios de diseño que deben aplicarse para adaptar las interfaces a este público. Finalmente, en la cuarta sección, se evalúan casos reales de sitios web en función de los criterios establecidos anteriormente.

## 1. Conceptos Claves

Antes de abordar los desafíos específicos que enfrentan las personas mayores, es necesario comprender los conceptos de accesibilidad y usabilidad web. Es por esto que, en esta primera sección, se desarrollan sus definiciones y su relevancia dentro de los sitios web.

### *1.1 Accesibilidad Web*

En primer lugar, el World Wide Web Consortium (W3C) (citado en [1]), comunidad internacional que desarrolla estándares que aseguran el crecimiento de la Web a largo plazo, informa que la accesibilidad web significa que personas con algún tipo de discapacidad van a poder hacer uso de la web. Esta, se enfoca en ampliar y facilitar a todos los usuarios, independientemente de sus capacidades, el acceso a un sitio web y a sus contenidos de manera exitosa y, sin ningún tipo de limitaciones que estos puedan tener. Es decir, es aquello que permite percibir, entender, navegar e interactuar con la web sin barreras de por medio [2]. Las Pautas de Accesibilidad al Contenido Web (WCAG), desarrolladas por la Iniciativa de Accesibilidad Web (WAI), establecen cuatro principios fundamentales dentro del contenido: perceptible, operable, comprensible y robusto; lo que permite evaluar si una página puede adaptarse a distintas necesidades [3].

### *1.2 Usabilidad Web*

Por otra parte, la usabilidad web, según Jakob Nielsen, se enfoca en alcanzar la facilidad de uso de los sitios web por parte de los usuarios, permitiendo que las personas puedan aprender a usar un sistema que resulte intuitivo, claro y coherente en cuanto a su estructura, diseño y comportamiento [4]. En términos generales, se refiere al grado en que un sitio permite a los usuarios alcanzar sus objetivos de manera eficaz, eficiente y satisfactoria.

Además, las heurísticas de usabilidad propuestas por Nielsen incluyen principios como: visibilidad del estado del sistema, control y libertad del usuario, consistencia, prevención de errores y diseño estético y minimalista.

### *1.3 Relación entre Accesibilidad y Usabilidad*

A pesar de que accesibilidad y usabilidad son conceptos distintos, están profundamente relacionados. Mientras que la accesibilidad apunta a eliminar barreras que impiden el acceso, la usabilidad se enfoca en mejorar la experiencia de quienes ya acceden. Es por esto que, en el caso de los adultos mayores, esta convergencia es clave ya que, garantiza que los sitios web estén diseñados de manera inclusiva, permitiendo una experiencia satisfactoria para ellos [4].

## 2. Dificultades de los Adultos Mayores al Usar Sitios Web

En esta sección se identifican los principales obstáculos y dificultades que enfrentan los adultos mayores al interactuar con diferentes sitios web. Para comprenderlo de manera más directa y concisa, se presentan los resultados de una encuesta aplicada y su respectivo análisis.

### *2.1 Barreras Sensoriales, Motrices y Cognitivas*

A medida que las personas envejecen, experimentan cambios físicos y cognitivos que pueden impactar directamente en su capacidad al momento de utilizar sitios web [1]. Estos cambios no siempre se consideran en el diseño digital, lo cual genera una serie de barreras que dificultan la experiencia.

- *Barreras Sensoriales:* uno de los cambios más comunes asociados al envejecimiento es la disminución de la agudeza visual y auditiva, lo que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



dificulta la lectura de textos pequeños, de bajo contraste o con tipografías poco legibles, así como también la reproducción de archivos multimedia [1].

- *Barreras Motrices:* en muchos casos, los adultos mayores presentan dificultades en la motricidad fina, afectando su habilidad para utilizar el mouse con precisión o para escribir en teclados pequeños (como el de los celulares). Esto, influye también, en el temor a cometer errores y no saber cómo corregirlos [1].
- *Barreras Cognitivas:* junto con el envejecimiento, también se observan cambios en la memoria de corto plazo, el tiempo de reacción y la capacidad para realizar tareas simultáneas. Esto puede hacer que navegar en sitios con múltiples ventanas emergentes, menús desplegables complejos o instrucciones poco claras resulte confuso [1].

Sin embargo, estas barreras no suelen aparecer de forma aislada, sino que se combinan entre sí. Por ejemplo, un sitio que utiliza letra pequeña (barrera visual), junto con botones pequeños (barrera motriz) y pasos poco intuitivos (barrera cognitiva), puede convertirse en una experiencia frustrante para una persona mayor que intenta realizar un trámite simple.

***2.2 Encuestas y Análisis*** En dicho trabajo, buscaremos comprender y evaluar la situación de este grupo etario en relación a las diferentes tecnologías, principalmente, en cuanto a los sitios web. Para lograr este objetivo, se elaboró, distribuyó y analizó una encuesta, vía digital, dirigida a adultos mayores de 60 años con el fin de conocer las dificultades que enfrentan al interactuar con estos. En la encuesta realizada a adultos mayores, obtuvimos un total de aproximadamente 50 encuestados. Entre ellos, se destacan los usuarios entre 70 y 79 años con un 41,7%, y aquellos entre 60 y 69 años con un 50%. Se les realizaron las siguientes preguntas.

1. ¿Con qué frecuencia utiliza sitios web en general?
2. ¿Qué tipo de actividades realiza en los sitios web? (Puede marcar varias opciones).
3. ¿Desde qué dispositivo accede más frecuentemente a los sitios web?
4. ¿Cómo calificaría su nivel general de confianza al navegar en sitios web?
5. ¿Recibió ayuda para aprender a usar internet o sitios web?
6. ¿Con cuál de estas dificultades se encuentra al utilizar sitios web? (Puede marcar varias opciones)
7. ¿Ha abandonado algún trámite o compra por internet debido a dificultades con el sitio web?
8. ¿Qué aspectos considera más importantes para que un sitio web sea fácil de usar? (Puede marcar hasta tres opciones)
9. ¿Cree que la mayoría de los sitios web están diseñados pensando en personas mayores? Esta encuesta nos permitió identificar patrones de acceso, barreras percibidas y preferencias de diseño en este grupo etario. La mayoría de los encuestados utiliza internet varias veces al día (72,2%) y con fines diversos, como búsqueda de información (77,8%), banca online y redes sociales (ambas con un 69,4%) y tanto trámites gubernamentales como compras online (44,4%). Sin embargo, a pesar de esta frecuencia de uso, predominan niveles de confianza medios y un aprendizaje mayoritariamente, guiado por familiares o amigos.

En línea con las barreras sensoriales, motrices y cognitivas descritas en el texto, los principales obstáculos son páginas que cargan lento o dan error (58,3%), tamaño de letra muy pequeño (33,3%), botones difíciles de ubicar (27,8%), problemas para entender

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



el lenguaje utilizado (25%), e información desordenada (19,4%). Estas dificultades han llevado a que una parte importante (72,2%) abandone trámites o compras en línea, confirmando que la falta de accesibilidad y usabilidad repercute directamente en la experiencia y satisfacción del usuario.

La encuesta también identificó los elementos de diseño más importantes por parte de los adultos mayores para que un sitio web sea fácil de usar. Estos son uso de lenguaje simple (83,3%), instrucciones paso a paso (66,7%), posibilidad de pedir ayuda (41,7%), y texto grande y claro (36,1%) con colores contrastados (11,1%).

Finalmente, todos estos hallazgos coinciden con las pautas del W3C y las heurísticas de Nielsen mencionadas anteriormente, en donde se señala que la combinación de accesibilidad y usabilidad es esencial para la inclusión digital de las personas mayores. Además, se refleja la necesidad de adaptación de las tecnologías teniendo en cuenta tanto las limitaciones funcionales relacionadas con el envejecimiento como las preferencias de estos usuarios [5].

## 3. Principios de Diseño a aplicar para la adaptación de los Adultos Mayores

Hoy en día, diseñar sitios web inclusivos para personas mayores, requiere considerar no sólo las limitaciones físicas y cognitivas asociadas al envejecimiento, sino también sus necesidades, expectativas y preferencias al momento de interactuar con la tecnología. Es por esto que, en esta sección, a partir del análisis de las respuestas obtenidas en las encuestas y de los conceptos anteriormente definidos, se propone una serie de principios de diseño web que deben aplicarse para adaptar las interfaces a los adultos mayores y mejorar la experiencia de ellos [2].

### *3.1 Lenguaje Simple*

Al momento de comunicarse, el lenguaje debe ser claro, con frases, palabras y conceptos que resulten familiares y evitando tecnicismos. En los sitios web, es recomendable incorporar ejemplos prácticos y descripciones paso a paso en procesos como pagos o turnos.

Además, la información debe estar resumida en párrafos breves y acompañada de títulos y subtítulos descriptivos, de manera que el contenido sea más escaneable y fácil de seguir. De esta manera, cuando el diseño siga las conversaciones del mundo real y se corresponda con los resultados deseados, a los usuarios les resultará más fácil aprender y recordar cómo funciona la interfaz, contribuyendo a una experiencia más intuitiva [1] [5] [6].

### *3.2 Instrucciones paso a paso*

La incorporación de instrucciones paso a paso dentro de un sitio web es clave para mejorar la accesibilidad y la usabilidad de estos. De esta manera, los adultos mayores, tendrán la posibilidad de realizar acciones simplificadas, reduciendo la carga cognitiva y la frustración al cometer errores. Estas instrucciones se deben estructurar de forma jerárquica y predecible, con menús visibles y opciones agrupadas por temas comprensibles para el usuario, permitiendo una interacción más intuitiva y eficiente [1].

### *3.3 Posibilidad de pedir ayuda*

La compatibilidad con ayudas tecnológicas se utiliza para garantizar la accesibilidad y usabilidad web. Dicho concepto, se refiere a las ayudas técnicas que debe incluir un sitio web como lectores de pantalla, ampliadores de texto, software de reconocimiento de voz y navegación por teclado de manera que se eviten conflictos y se permita una interacción eficiente. Además, dicho contenido, debe ser fácil de buscar y estar enfocado en la tarea del usuario, siendo conciso y enumerando los pasos a seguir [6]. En el contexto de los adultos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mayores, esta compatibilidad es crucial para asegurar la experiencia del usuario y la eficiencia operativa.

***3.4 Texto grande y claro*** Un diseño visual con texto grande y claro adaptado a las necesidades de los adultos mayores debe priorizar la legibilidad y la claridad de los elementos. Además, la iconografía debe ser clara, reconocible y acompañada de etiquetas textuales para evitar ambigüedades. El uso de espacios en blanco adecuados y la separación visual entre elementos interactivos ayuda a reducir la sobrecarga cognitiva y previene errores de selección.

Se deben proporcionar alternativas para cualquier contenido, de modo que pueda transformarse en el formato que se prefiera [1] [5] [3].

**4. Casos Reales de Sitios Web** En esta sección se evalúan casos reales de sitios web utilizados frecuentemente por los adultos mayores. El objetivo es verificar su nivel de accesibilidad y usabilidad en función de los criterios previamente establecidos.

***4.1 Sitios Web evaluados*** Con el fin de aplicar los principios de accesibilidad y usabilidad web analizados en secciones anteriores, se realizó una búsqueda de cuáles eran los sitios web de uso frecuente entre personas mayores en Argentina. Estos, pertenecen a distintos ámbitos (gubernamental, bancario y social) y fueron analizados en función de criterios ya analizados.

- *Sitio web de la Administración Nacional de la Seguridad Social (ANSES)*
- *Sitio web del Banco Nación Argentina (BNA)*
- *Facebook*

***4.2 Análisis***

Al analizar cada sitio web, se evalúan las fortalezas y debilidades de cada uno en donde, se permite no solo optimizar la interfaz y la arquitectura de la información, sino también garantizar que el servicio sea inclusivo y eficiente para todo el público, incluyendo a los adultos mayores. En este contexto, se presenta a continuación un relevamiento de aspectos positivos y limitaciones detectadas en un servicio específico de los sitios web analizados.

*4.2.1 Sitio web de la Administración Nacional de la Seguridad Social (ANSES)* En primer lugar, analizaremos las fortalezas y debilidades en cuanto a accesibilidad y usabilidad web del sitio de ANSES, específicamente, del área de "Atención Virtual". En esta, el usuario puede realizar trámites y consultas de manera online, sin la necesidad de acercarse a una oficina.

Fortalezas:

- Lenguaje claro y directo: utiliza frases simples ("Iniciar atención") y el contenido está distribuido en pasos visibles, favoreciendo la comprensión.
- Diseño adaptable: este sitio web funciona correctamente en todos los dispositivos y, además, cuenta con una fácil navegación táctil.
- Instrucciones paso a paso: se dividen las instrucciones en etapas y con un uso adecuado de separación visual.

Debilidades:

- Tamaño de texto pequeño sin la opción de ajustarlo según las preferencias.
- Mensajes de error: se reportan errores frecuentemente, sin indicar el motivo ni ofrecer alternativas de asistencia.

*4.2.2 Sitio Web del Banco Nación Argentina (BNA)*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En este caso, tomamos como referencia a su asistente virtual. Para muchos adultos mayores, este mismo permite una orientación inmediata y personalizada dentro del sitio, sirviendo como guía para resolver dudas frecuentes, encontrar secciones o recibir instrucciones paso a paso en tiempo real. Sin embargo, con esto no alcanza para que sea un sitio web accesible y usable.

Fortalezas:

- Asistencia inmediata: facilita la interacción con el sitio web y brinda la ayuda necesaria.
- Acceso simple y visible: su ícono resulta claro y accesible. Además, favorece el control del usuario.
- Lenguaje sin tecnicismos: facilita el entendimiento con un lenguaje simple y comprensible. Debilidades:
- Problemas de claridad en errores: por ejemplo, si el usuario formula una pregunta compleja, el asistente podría no ofrecer una respuesta clara, lo que podría generar frustración y una carga cognitiva.
- Distracciones: el ícono puede distraer u ocultar parte de la interfaz.

*4.2.3 Facebook*

Por último, analizaremos la red social Facebook, enfocándonos en la sección de noticias junto con el feed principal. Este, muestra un buen nivel de usabilidad accesible. Sin embargo, persisten algunas dificultades.

Fortalezas:

- Navegación clara: se ofrece un conjunto de atajos que facilitan la navegación.
- Compatibilidad con lectores de pantalla.
- Controles de apariencia visual: el texto, por ejemplo, puede ajustarse según las preferencias de cada usuario, facilitando la lectura. Además, se permite elegir modos de alto contraste.

Debilidades:

- Complejidad del diseño visual: gran densidad visual con múltiples columnas, notificaciones, anuncios y eventos distractores.
- Dependencia: algunas funciones están ocultas dentro de menús que pueden resultar inaccesibles. Finalmente, a partir del análisis de estos casos, puede observarse que, si bien existen avances en la adaptación de sitios web a personas mayores, todavía hay una brecha significativa entre la intención de accesibilidad y usabilidad y su implementación práctica. Además, de esta manera, se permitió validar objetivamente, las observaciones cualitativas realizadas anteriormente, confirmando que es necesaria la aplicación de los estándares WCAG.

**Trabajos Relacionados**

El interés por la relación entre adultos mayores y entornos digitales ha crecido en los últimos años, en gran medida debido al impacto del envejecimiento poblacional y a la necesidad de reducir la brecha digital. En este marco, diversos estudios han abordado las dificultades y oportunidades que enfrentan los adultos mayores en el uso de la web y otras tecnologías.

Por un lado, el trabajo de Cerdá et al. (2020) [5] analiza la interacción de los adultos mayores con redes sociales digitales, destacando que estas plataformas representan un recurso valioso para mejorar la calidad de vida y disminuir el aislamiento social. No obstante, los autores señalan que las interfaces actuales no siempre contemplan las particularidades cognitivas y sensoriales de este grupo etario, lo que genera barreras de accesibilidad y usabilidad. Si bien el artículo propone estrategias de alfabetización digital, su enfoque se centra más en el acompañamiento social y educativo que en el rediseño de las plataformas, lo que evidencia una limitación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



respecto de la dimensión técnica del problema.

En la misma línea, el estudio de Cardozo et al. (2010) [1] examina la adecuación de la web para el uso de personas mayores, planteando que el diseño debe responder a criterios de accesibilidad y usabilidad que reduzcan la carga cognitiva. Los autores hacen referencia a las pautas del *National Institute on Aging* (NIA), que incluyen la simplificación de la navegación, el aumento de la legibilidad y el uso de elementos visuales claros. Un aporte relevante de este trabajo es la evaluación práctica de un sitio web destinado a adultos mayores (la revista digital "Libre Edad"), lo que permite identificar tanto aciertos (lenguaje accesible, imagen positiva del adulto mayor) como deficiencias (fuente pequeña, enlaces poco claros, botones de difícil interacción). Sin embargo, se trata de un estudio de caso específico, por lo que no permite generalizar conclusiones a otros entornos digitales.

En conjunto, estos trabajos muestran que, aunque se reconoce la importancia de que los adultos mayores puedan usar la tecnología de manera accesible, muchas veces las soluciones se dividen entre las que se enfocan en enseñar y acompañar, y las que se centran solo en mejorar el diseño de las páginas web. De este modo, se observa la necesidad de estudios que integren ambas perspectivas y que, además, aporten evidencia sobre la experiencia de los adultos mayores en entornos web diversos.

**Conclusión y Trabajos Futuros** Los sitios web generan un medio que contribuye a mantener integrados a los adultos mayores en la sociedad. De esta manera, se definió a la accesibilidad y la usabilidad web como condiciones esenciales que constituyen la base para garantizar la inclusión de este grupo etario. Sin embargo, a partir de las encuestas realizadas, muchos usuarios manifestaron que, actualmente, en la mayoría de los sitios web estas características no son visibles. A partir de esto, se evidencian las principales dificultades vinculadas a las barreras propias del envejecimiento debido a que no se muestra un diseño que brinde confianza y seguridad, afectando así, la experiencia de este grupo. Es por esto que, es fundamental brindar las herramientas y los recursos necesarios (lenguaje simple, instrucciones, ayuda, etc.) para que estos medios se encuentren al alcance de toda la población, evitando la falta de conocimiento, de experiencia y de confianza, ya que, aún persiste una brecha considerable entre la intención de accesibilidad y usabilidad web y su aplicación en la práctica. Por otro lado, este trabajo presenta algunas limitaciones a tener en cuenta. En primer lugar, la encuesta realizada contó con un alcance reducido, lo que limita la posibilidad de generalizar los resultados a toda la población de adultos mayores. Además, el análisis se centró en un conjunto limitado de sitios (ANSES, Facebook, BNA) sin incorporar pruebas directas con personas, lo que restringe la posibilidad de captar las dificultades que se enfrentan en dichos entornos digitales en su totalidad.

A partir de esta falta de información, surgen preguntas abiertas que requieren un abordaje más profundo: ¿cómo garantizar que las mejoras propuestas se traduzcan en prácticas de diseño efectivas? ¿De qué manera se pueden articular políticas públicas con estrategias de desarrollo tecnológico inclusivas? ¿Qué rol deberían asumir las instituciones educativas y gubernamentales en la promoción de buenas prácticas de accesibilidad? ¿Cómo influyen factores externos, como el tipo de dispositivo o la calidad de conexión, en la experiencia de uso? ¿Existe algún método para diseñar webs de forma que sean accesibles y usables por todo tipo de usuarios?

Finalmente, en función de las limitaciones y de los interrogantes planteados, las futuras líneas de trabajo deben orientarse a incorporar metodologías participativas que integren a adultos mayores en pruebas de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



diseño y usabilidad; desarrollar y optimizar el diseño de interfaz accesible; incorporación de ajustes automáticos de diseño; y continuar con el acompañamiento y la ayuda en el uso de los sitios web.

Además, se destaca la importancia de fomentar un abordaje interdisciplinario que integre el diseño centrado en el usuario, las barreras del envejecimiento, preferencias, hábitos y capacidades, y las políticas públicas con el fin de generar soluciones sostenibles, promoviendo una inclusión digital efectiva y una compatibilidad con las tecnologías.

**Agradecimientos**

Thea, Lucía - Sistemas y Procesos de Negocio.

**Referencias**

- [1] Cardozo, C., Martian, A., Saldaño, V. *"Los adultos mayores y las redes sociales: Analizando experiencias para mejorar la interacción"*. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. 10 de mayo de 2017. Disponible en: https://publicaciones.unpa.edu.ar/index.php/ICTUNPA/article/download/573/552/1995 [Accedido: 01/08/2025].
- [2] Campillo Péres, A. *"Usabilidad de sitios webs para personas de la tercera edad"*. Universidad Abierta de Cataluña. 9 de noviembre de 2008. Disponible en: https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/457/1/00914tfc.pdf [Accedido: 07/08/2025].
- [3] W3C. *"Pautas de Accesibilidad al Contenido en la Web (WCAG) 2.1."* Disponible en: https://www.w3.org/TR/2025/REC-WCAG21-20250 506/ [Accedido 04/08/2025].
- [4] Cardozo, C., Martín, A., Saldaño, V. y Gaetán, G. *"Una propuesta para mejorar la experiencia de los adultos mayores con las redes sociales"*. Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA). 10 de enero de 2020. Disponible en: https://www.tecnologia-ciencia-educacion.com/index.php/TCE/article/view/445/293 [Accedido: 27/07/2025].
- [5] Cerdá, E. P. *"Hacia la adecuación de la web para el uso de los Adultos Mayores. Análisis de un caso."*. Universidad Nacional de La Plata. Junio de 2007. Disponible en: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/4114/Documento_completo.pdf [Accedido: 26/27/2025].
- [6] Nielsen, J. *"10 heurísticas de usabilidad para el diseño de interfaces de usuario."* Nielsen Norman Group. 24 de abril de 1994. Disponible en: https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/ [Accedido: 04/08/2025].
- [7] Díaz, F. J., Harari, I. *"Del Telegrama a los Tweets: Investigación sobre la Interacción del Adulto Mayor con las Redes Sociales y Aplicaciones Google considerando Aspectos de Usabilidad y Accesibilidad Web"*. Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/45953/Documento_completo.pdf [Accedido: 26/07/2025].
- [8] Noriega Armendáriz, R., Balderrama Armendáriz, C., Maldonado Macias, A. *"Estrategias de accesibilidad web para personas mayores"*. MADGU. Mundo, Arquitectura, Diseño Gráfico y Urbanismo. 17 de octubre de 2024. Disponible en: https://madgu.unison.mx/index.php/madgu/article/view/117 [Accedido: 19/10/2025].

**Datos de Contacto:**

*Thiago Dubini - thiagodubini432@gmail.com*
*Catriel Esquivel - catriel.esquiveltae@gmail.com*
*Joel Eduardo Fagundez - fagundezjoeleduardo@gmail.com*
*Tiziano Benjamin Farias - tbenjaminfarias@gmail.com*
*Astur Felgueroso Camporro - felguerosoastur@gmail.com*
*María Florencia Fernández - mflorenciafernandez7@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ALGORITMOS GENÉTICOS EN LA OPTIMIZACIÓN DE REDES NEURONALES LSTM PARA LA PREDICCIÓN DE SERIES TEMPORALES FINANCIERAS

**Brizio, Augusto - Constante, Gonzalo - Felicevich, Mirko - Navós, Juan Ignacio**

**Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario**

**Abstract**
La predicción de series temporales financieras representa un desafío debido a su naturaleza no lineal y a la influencia de múltiples factores externos. En este trabajo se explora el uso de redes neuronales recurrentes del tipo LSTM, optimizadas mediante algoritmos genéticos para mejorar la precisión en tareas de pronóstico. La optimización de hiperparámetros se plantea como un aspecto crítico para el desempeño de estos modelos, dado que determina su capacidad de generalización y adaptación a datos complejos. Se implementó una solución en Python utilizando datos históricos de la acción de YPF como caso de estudio. Los resultados evidencian que la combinación de LSTM y algoritmos genéticos constituye una estrategia efectiva para abordar la predicción de series financieras, aportando un marco metodológico aplicable a distintos contextos.

**Palabras clave**
Algoritmos genéticos - Redes neuronales recurrentes - LSTM - Optimización de Hiperparámetros - Teoría del Caos - Machine Learning - Series temporales financieras

## 1. Introducción

La predicción de series temporales financieras es desafiante por su no estacionariedad, ruido y volatilidad, con rasgos compatibles con dinámicas no lineales e incluso caóticos[1] [1], lo que limita a modelos lineales como ARIMA[2] para dependencias de largo alcance. Los avances en aprendizaje profundo, en particular las redes recurrentes del tipo **Long Short-Term Memory (LSTM)**, permiten modelar relaciones no lineales en secuencias y han mostrado buen desempeño en finanzas.

El rendimiento de estas redes depende de la elección de hiperparámetros (profundidad, unidades, tasa de aprendizaje, regularización, tamaño de lote, etc.). En este trabajo abordamos su ajuste mediante **algoritmos genéticos (AG)**, un enfoque evolutivo que explora configuraciones candidatas y selecciona las de mejor desempeño. Evaluamos la combinación LSTM y AG en la serie de precios de YPF, comparando un modelo base con uno optimizado y cuantificando el impacto sobre el error de pronóstico.

## 2. Fundamentos Teóricos

### 2.1. Redes LSTM

Las Long Short-Term Memory (LSTM), propuestas por Hochreiter y Schmidhuber en 1997 [2], son una variante de las redes neuronales recurrentes (RNN) diseñada para superar el problema del gradiente desvaneciente [3]. Incorporan una **celda de memoria** que retiene información

[1] Se entiende por caótico aquel sistema no lineal sensible a condiciones iniciales, lo que lo hace aparentemente aleatorio e impredecible a largo plazo, propio de la teoría del caos.

[2] Autoregressive Integrated Moving Average (Media Móvil Integrada Autorregresiva) y es un modelo estadístico utilizado para el análisis y la predicción de datos de series temporales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



relevante durante largos intervalos y se regula mediante tres puertas: entrada, salida y olvido, que controlan qué información se incorpora, se utiliza y se descarta [4]. Gracias a esta arquitectura, las LSTM capturan patrones temporales complejos y se aplican ampliamente en predicción financiera y otros dominios secuenciales.

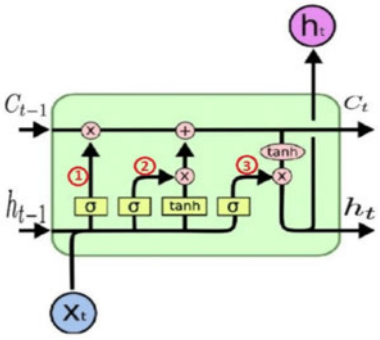



**Figura 2.** *Celda LSTM con sus tres puertas principales: olvido (1), entrada (2) y salida (3), encargadas de regular la información que se conserva, se actualiza y se utiliza en cada paso temporal.*

### 2.2. Hiperparámetros

En *machine learning*, se entiende por hiperparámetro a una variable que es externa al modelo y que debemos definir manualmente al momento de programar el algoritmo de entrenamiento. Son diferentes de los parámetros, que son elementos internos derivados de manera automática durante el proceso de aprendizaje, como por ejemplo los pesos de los nodos.

La correcta elección de los hiperparámetros es determinante para el desempeño de una red. Existen diversas técnicas de búsqueda y optimización que buscan encontrar configuraciones adecuadas para maximizar la capacidad predictiva del modelo.

Entre los hiperparámetros más comunes en redes neuronales se encuentran:

- **Número de capas ocultas (*layers*)**: Determina su profundidad, lo que afecta a su complejidad y capacidad de aprendizaje. Menos capas hacen que el modelo sea más simple y rápido, pero más capas conducen a una mejor clasificación de los datos de entrada. Identificar aquí el valor óptimo es un compromiso entre velocidad y precisión. [5]
- **Número neuronas por capa (*units*)**: Establece la amplitud de cada capa. Un mayor número de neuronas incrementa la capacidad de la red para aprender relaciones complejas, aunque también puede aumentar el riesgo de sobreajuste[3] y la demanda computacional. [5]
- **Tasa de aprendizaje (*learning rate*)**: Regula el grado en el que un modelo ajusta sus parámetros en cada paso de su algoritmo de optimización, cuyo objetivo es minimizar la función de pérdida[4]. Cada vez que el modelo ejecuta su algoritmo de optimización, actualiza sus parámetros en función del resultado. [6]

Una tasa de aprendizaje alta permite un avance rápido pero puede volver inestable el entrenamiento. En cambio, una tasa de aprendizaje baja ajusta los parámetros de manera más gradual, lo que genera un proceso más lento pero estable, con mayor probabilidad de converger hacia un resultado adecuado.

[3] El sobreajuste (*overfitting*) ocurre cuando un modelo aprende en exceso los detalles y el ruido del conjunto de entrenamiento, perdiendo capacidad de generalizar correctamente a datos nuevos.
[4] La función de pérdida (*loss function*) es una medida matemática que cuantifica la diferencia entre las predicciones del modelo y los valores reales. Un valor más bajo indica que el modelo está realizando mejores predicciones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



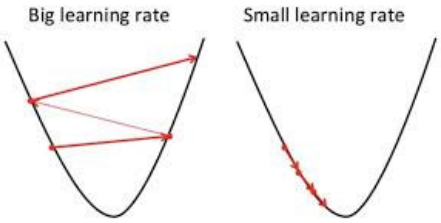



**Figura 3.** *Comparación del efecto de una tasa de aprendizaje grande y una tasa de aprendizaje pequeña con respecto a la función de pérdida y a su mínimo global.*

- ***Tamaño de Lote:***

Siguiendo la línea de la tasa de aprendizaje, ya que ambos influyen directamente en la dinámica de actualización de los parámetros, el tamaño de lote (*batch size*) define cuántos ejemplos se procesan antes de actualizar los parámetros.

- ***Épocas* (iteraciones)*:***

Este es el número de veces que se van a pasar cada ejemplo de entrenamiento por la red. Es fácil caer en la tentación de pensar que un alto número de Epoch puede hacer que la red aprenda más fácil, pero lotes pequeños generan actualizaciones más ruidosas, y grandes, más estables pero costosas. [7]

- ***Dropout:***

Es una técnica de regularización, es decir, un conjunto de métodos destinados a mejorar la capacidad de generalización[5] del modelo. En la práctica, consiste en desactivar aleatoriamente un porcentaje de neuronas durante el entrenamiento. De este modo se evita que la red dependa en exceso de conexiones específicas y se fuerza a que aprenda representaciones más robustas. [8]

[5] En *machine learning*, la generalización es la capacidad de un modelo para aplicar correctamente su aprendizaje a datos nuevos y nunca antes vistos.

### 2.3. Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos (AG) son algoritmos de búsqueda heurística[6] adaptativa que pertenecen a la mayor parte de los algoritmos evolutivos. Estos algoritmos simulan el proceso de selección natural, que se basa en que los individuos más aptos de una población son los que sobreviven y pasan a la siguiente generación, al adaptarse más fácilmente a los cambios que se producen en su entorno. [9]

Cada generación consta de una **población** de individuos , y cada individuo representa un punto en el **espacio de búsqueda** y una posible solución. Cada individuo se codifica como un vector de longitud finita (similar a un cromosoma) de componentes. Estos componentes variables son análogos a los genes. **Por lo tanto, un cromosoma (individuo) se compone de varios genes (componentes variables)**. [10]




**Figura 4.** *Representación de una población, cromosoma y gen.*

#### 2.3.1. Función de aptitud (*fitness function*)

La función de aptitud **tiene como objetivo medir qué tan adecuada es una solución**

[6] Procedimiento que utiliza reglas prácticas o aproximadas para explorar soluciones en un problema complejo, sin garantizar la mejor solución absoluta pero encontrando resultados satisfactorios en un tiempo razonable.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**candidata con respecto al problema planteado.** Cada individuo de la población se evalúa mediante la función de aptitud, siendo aquéllos con el mejor puntaje los que tienen más probabilidades de ser seleccionados como "padres", transmitiendo sus características a la siguiente generación.

La definición concreta de la aptitud depende del problema en cuestión. Puede tratarse, por ejemplo, del error cuadrático medio en un problema de predicción, o de la distancia recorrida en un problema de rutas. En todos los casos, traduce el objetivo del problema en una medida cuantificable que permite comparar las soluciones entre sí.

### 2.3.2. Operadores Genéticos

Una vez creada la generación inicial, el algoritmo la desarrolla utilizando los siguientes operadores.

#### 2.3.2.1. Selección.

El operador de selección elige a los individuos que serán padres, favoreciendo a los de mayor aptitud para que transmitan sus genes a generaciones sucesivas.

#### 2.3.2.2. Operador de cruce (*crossover*).

El *crossover* representa el apareamiento entre individuos. Se seleccionan dos individuos mediante el operador de selección y se eligen aleatoriamente los sitios de cruce. Posteriormente, se intercambian los genes en estos sitios de cruce, creando así un individuo completamente nuevo (descendencia). [10]

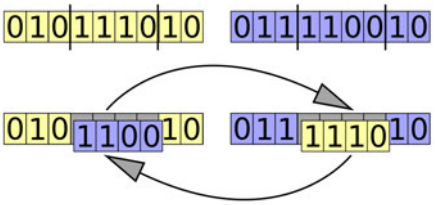



**Figura 5**. *Ejemplo de crossover, donde dos cromosomas intercambian segmentos de genes para generar descendencia.*

#### 2.3.2.3. Mutación

Introduce variaciones aleatorias en los hijos para mantener la diversidad de la población y evitar la convergencia prematura. Se aplica con una probabilidad por gen o por individuo.

La tasa de mutación suele ser baja en comparación con la tasa de crossover.

## 3. Desarrollo del Trabajo

### 3.1. Conjunto de datos

Se utilizaron cotizaciones históricas de YPF descargadas mediante la librería *yfinance.* Nuestra variable objetivo es el precio de cierre diario. Del total, se trabajó con los últimos 2000 cierres diarios (8 años) , que resulta suficiente para capturar patrones representativos de la dinámica reciente del activo y, al mismo tiempo, garantiza que el entrenamiento del modelo sea factible en términos de tiempo y recursos. Trabajar con series excesivamente largas no siempre aporta mejoras sustanciales en el desempeño.

### 3.2. Preprocesamiento de los datos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El procesamiento incluyó la normalización de la serie mediante un escalado *Min-Max*[7] en el rango [0,1], tal como sugiere la bibliografía especializada. Este paso es fundamental porque las redes LSTM entrenan de manera más estable cuando los datos se encuentran en un rango reducido. [11]

Posteriormente, la serie normalizada se transformó en ejemplos supervisados mediante el uso de ventanas deslizantes. Cada ventana de observación estuvo compuesta por los últimos 20 días y el modelo se entrenó para predecir los 5 días siguientes. En la práctica, esto significa que el modelo "ve" una secuencia de 20 precios pasados y aprende a generar una predicción para los 5 precios posteriores.

Este enfoque ubica nuestro trabajo en el marco de los modelos de predicción multi-paso, que generan más de un valor futuro por cada secuencia de entrada. En contraste, los modelos de un solo paso producen únicamente el valor inmediato siguiente a partir de la ventana de entrada. [11]

En este esquema, el 70 % de los datos más antiguos se destinó al entrenamiento, el 15 % siguiente a la validación y el 15 % restante, correspondiente a los datos más recientes, a la prueba final. La lógica es: el modelo se entrena con información pasada, ajusta su desempeño en un conjunto intermedio que simula datos aún no vistos, y finalmente se evalúa en los datos más recientes, reproduciendo de manera más realista la situación de pronosticar hacia adelante.

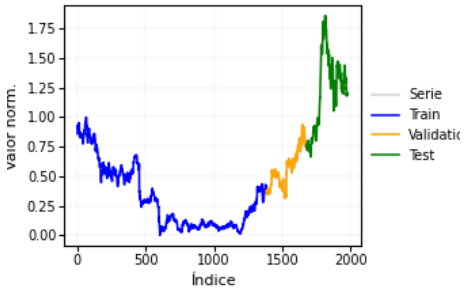



**Figura 7.** *División de la serie temporal en subconjuntos de entrenamiento (70 %), validación (15 %) y prueba (15 %). Los valores fueron previamente normalizados.*

De esta manera, el conjunto de datos queda preparado para ser utilizado en la construcción y entrenamiento del modelo LSTM.

### 3.3. Configuración del modelo base

En predicción financiera con series diarias, las configuraciones poco profundas (1–2 capas) y con unidades por capa moderadas (≈32–128 unidades) son prácticas comunes. [11]

El modelo base se implementó como una red LSTM de **2 capas** con **50 unidades por capa** y para la salida, una capa densa[8] dimensión 5 para producir, en un único paso, las predicciones correspondientes a los cinco días futuros del horizonte definido.

El entrenamiento se realizó con Adam como algoritmo optimizador y **tasa de aprendizaje** $\mathbf{1\times10^{-3}}$, pérdida MSE y métrica RMSE. Se empleó un máximo de

[7] El escalado Min–Máx funciona restando el valor mínimo de la serie y dividiendo por el rango (máximo–mínimo).

[8] Una capa densa (fully connected) es una capa en la que cada neurona está conectada a todas las neuronas de la capa anterior, lo que permite combinar la información extraída en las etapas previas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**100 épocas**, controladas por parada temprana[9].

Se optó por utilizar la **Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE)** como métrica principal de evaluación, dado que proporciona una medida interpretable en las mismas unidades que la variable objetivo (dólares estadounidenses) y penaliza con mayor fuerza los errores grandes.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

**Figura 8.** *Cálculo del error: y representa el valor real de la serie (observado en los datos),* $\hat{y}$ *corresponde al valor predicho por el modelo.*

Estas decisiones proporcionan un punto de partida razonable sobre el cual evaluar el aporte de la optimización de hiperparámetros mediante algoritmos genéticos.

### 3.4. Optimización de hiperparámetros con AG

Para optimizar la configuración de la red LSTM se implementó un Algoritmo Genético (AG) que explora combinaciones de hiperparámetros y selecciona aquellas que minimizan el error de validación.

#### 3.4.1. Espacio de búsqueda

Cada individuo es un conjunto de hiperparámetros. Se consideraron como genes los hiperparámetros más influyentes del modelo:

- Capas de la red (entero, 1–3)
- Número de neuronas por capa (entero, 32–96)
- Épocas (entero, 40–90)
- Tasa de aprendizaje (float, 0,0001 - 0,003)
- Tasa de dropout (float, 0.05–0.35)
- Tamaño de lote (categórico: {16, 32, 64})

#### 3.4.2. Configuración del AG

Se usó una población de 8 individuos, elitismo[10] de 2 mejores por generación, torneo[11] de tamaño 3 como operador de selección, cruce con probabilidad 0.9 y mutación con probabilidad 0.2 por gen.

**Cruce:** intercambio 50/50 en genes enteros/categóricos; para reales se promedia entre los padres y se añade ruido gaussiano[12] acotado.

**Mutación:** perturbaciones pequeñas y acotadas:

- ±1 capa.
- ±4/±8 unidades.
- ±5/±10 épocas.
- Vecino en tamaño de lote (por ej: si está en 16, pasa a 32)
- Ruido gaussiano en dropout

[9] La parada temprana (*early stopping*) interrumpe el entrenamiento cuando la mejora en el conjunto de validación deja de ser significativa, evitando sobreajuste y ahorro de recursos.

[10] *El elitismo es una estrategia en algoritmos genéticos que consiste en conservar directamente los mejores individuos de una generación para garantizar que no se pierda la calidad de las soluciones en el proceso evolutivo.*

[11] *El torneo es un método de selección en algoritmos genéticos que consiste en elegir aleatoriamente un grupo de individuos y seleccionar como padre al que presente la mejor aptitud dentro de dicho grupo.*

[12] *El ruido gaussiano se refiere a una perturbación aleatoria extraída de una distribución normal, caracterizada por su media y varianza. En los algoritmos genéticos se utiliza para introducir variaciones pequeñas y controladas en los valores reales de los genes.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Se multiplica por factor *log-normal*[13] en la tasa de aprendizaje.

En esta corrida se fijaron 2 generaciones

La **función de aptitud** es el ***RMSE* promedio** normalizado en validación, promediado sobre los cinco horizontes $t+1 \dots t+5$ (menor es mejor). Además, registramos esta métrica en USD por razones de interpretabilidad.

El criterio de parada es un número máximo de generaciones.

### 3.4.3 Resultados.

El modelo base, con dos capas LSTM de 50 unidades, **alcanzó un *RMSE promedio* de 2.62 USD** en el conjunto de prueba, que para tener una referencia, es un 9.15% del valor de la acción a día de hoy (10-09-2025), 28.64 USD. [12] Su principal limitación fue la dificultad para reaccionar ante cambios bruscos, generando predicciones más suaves y con cierto desfase, lo que en la práctica se traduce en un menor poder predictivo.

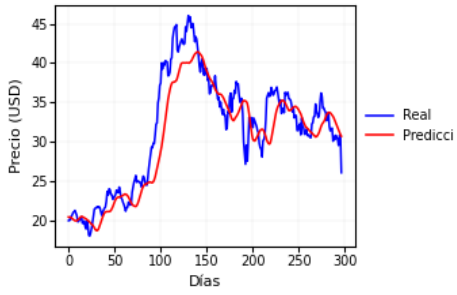



**Figura 9.** *Predicción del conjunto de prueba utilizando el modelo base.*

[13] *El factor log-normal corresponde a un valor aleatorio generado de una distribución log-normal. Permite escalar hiperparámetros positivos en órdenes de magnitud pequeños, preservando siempre la positividad.*

**Tras la optimización, el modelo pasó a tener solo una capa, pero con 83 unidades.** Esta modificación redujo la profundidad, evitando redundancias y sobreajuste, y **resultando en un modelo más simple**. Mientras que el aumento de unidades en la única capa disponible amplió su capacidad de memoria, logrando capturar dependencias temporales de mayor alcance.

Otro ajuste notorio, además de la arquitectura, fue la reducción del batch size de 32 a 16, lo que permitió actualizaciones más frecuentes y sensibles a las variaciones de los datos.

Los cambios en dropout y la tasa de aprendizaje *(LR)* también contribuyeron, aunque de forma secundaria, al modelo final.

| Hiperparámetro | Base | Optim. AG |
|---|---|---|
| Capas LSTM | 2 | 1 |
| Unidades/capa | 50 | 83 |
| Dropout | 0.20 | 0.105 |
| LR | 0.001 | 0.001418 |
| Batch | 32 | 16 |
| Épocas | 100 | 60 |

**Tabla 1.** *Comparación de los hiperparámetros empleados en el modelo base y en el modelo optimizado mediante algoritmos genéticos (AG).*

En conjunto, estos cambios se reflejan en un *RMSE* promedio que disminuye a 2.03 USD, aproximadamente un 22.5% de mejora. Más allá de la métrica, en la Figura 10 se observa que el modelo optimizado logra seguir con mayor precisión las oscilaciones de la serie, ajustándose mejor en los tramos de alta volatilidad y reduciendo el rezago respecto de la dinámica real.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



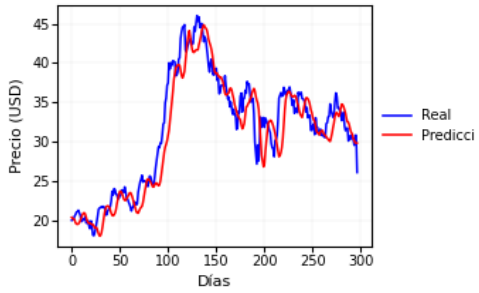



**Figura 10.** *Predicción del conjunto de prueba utilizando el modelo optimizado.*

## 4. Conclusión

La aplicación de algoritmos genéticos en la optimización de hiperparámetros de redes LSTM **demostró ser una estrategia eficaz para mejorar el desempeño en la predicción de series temporales financieras,** reduciendo el error en un 22,5 % respecto del modelo base. Los resultados muestran que esta técnica puede encontrar configuraciones más adecuadas que las seleccionadas manualmente. No obstante, esta mejora **conlleva un costo computacional elevado**, ya que los algoritmos genéticos requieren múltiples evaluaciones de modelos a lo largo de generaciones para explorar el espacio de búsqueda.

En síntesis, el estudio confirma la utilidad de los algoritmos evolutivos como herramienta para la optimización automática de hiperparámetros en problemas financieros, siempre que se cuente con el tiempo y los recursos necesarios.

## 5. Trabajos Futuros

Entre las posibles líneas a seguir se incluyen:

1. **Explorar otros métodos de optimización** de hiperparámetros con el objetivo de comparar su desempeño y eficiencia frente a los algoritmos genéticos.

2. **Ampliar el modelo hacia un enfoque multivariado**, incorporando variables adicionales que puedan influir en el precio de la acción.

## 6. Referencias

**[1] Faggini, M., Parziale, A., & Viviani, A. (2019). Does chaos matter in financial time series analysis?** ***International Journal of Economics and Financial Issues.*** **https://www.econjournals.com/index.php/ijefi/article/download/8058/pdf/20029**

**[2] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory.** ***Neural Computation***

**[3] Wikipedia. (s.f.).** ***Red neuronal recurrente.*** **https://es.wikipedia.org/wiki/Red_neuronal_recurrente**

**[4] Wikipedia. (s.f.).** ***Memoria larga a corto plazo.*** **https://es.wikipedia.org/wiki/Memoria_larga_a_corto_plazo**

**[5] IBM. (s.f.).** ***Ajuste de hiperparámetros (Hyperparameter tuning).*** **https://www.ibm.com/es-es/think/topics/hyperparameter-tuning**

**[6] IBM. (s.f.).** ***Learning rate.*** **https://www.ibm.com/think/topics/learning-rate**

**[7] Casas González, J. (2021).** ***Tuneando los hiperparámetros de una red neuronal LSTM.***

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**LinkedIn.**
https://www.linkedin.com/pulse/tuneando-los-hiperpar%C3%A1metros-de-una-red-neuronal-lstm-casas-gonzalez/

**[8] Coursera. (s.f.).** ***Dropout in neural networks: A simple way to prevent overfitting*****.** https://www.coursera.org/articles/dropout-neural-network

**[9] Díaz, D. E. (2013).** ***Introducción a los algoritmos genéticos*****. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario. Apunte de cátedra.**

**[10] GeeksforGeeks. (s.f.).** ***Genetic algorithms*****.** https://www.geeksforgeeks.org/dsa/genetic-algorithms/

**[11] TensorFlow. (s.f.).** ***Time series forecasting*****.** https://www.tensorflow.org/tutorials/structured_data/time_series?hl=es-419

**[12] Yahoo Finance. (s.f.).** ***YPF S.A. (YPF)*****.** https://es.finance.yahoo.com/quote/YPF/

**Datos de Contacto:**

Brizio, Augusto - 52479 - UTN Frro - brizioaugusto@gmail.com

Constante, Gonzalo - 52282 - UTN Frro - constante.gonzalo2@gmail.com

Felicevich, Mirko - 50715 - UTN Frro - mirkofelicevich@gmail.com

Navós, Juan Ignacio - 53169 - UTN Frro - juaninavos@gmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Inteligencia artificial utilizada para la generación de arte

**Leites Lautaro, Lencina Gonzalo, Leonardi Santino, Macerattini Camilo, Mahmud Lihue, Marchesini Lara, Marinelli Milagros y Moran Tiziano**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay***

**Abstract**
El siguiente trabajo analiza el impacto de la inteligencia artificial en el arte desde una perspectiva crítica y actual. Se abordan sus principales aplicaciones, como la accesibilidad y rapidez en la creación artística como negativas. A través del estudio de casos, encuestados y análisis de herramientas, se reflexiona sobre el papel de la creatividad humana frente al avance tecnológico, y se plantea si la IA puede ser considerada un artista auténtico. El objetivo es contribuir a una comprensión más profunda de esta transformación y sus implicancias en el presente y futuro del arte.

**Palabras clave:**
Inteligencia Artificial, Generación de imágenes, Creatividad humana, Innovación artística, aprendizaje.

## Introducción

Este trabajo, realizado para la cátedra Sistemas y procesos de negocio de la carrera Ingeniería en sistemas de información de la Universidad Tecnológica Nacional, facultad Regional de Concepción del Uruguay, busca indagar en la transformación que ha sufrido el arte debido al uso de la Inteligencia Artificial.

En la actualidad, la inteligencia artificial (IA) desempeña un papel cada vez más importante en diversas áreas, incluido el arte. A través de algoritmos avanzados y técnicas de aprendizaje automático, la IA analiza grandes volúmenes de obras previas, identifica patrones, estilos, estructuras y genera nuevas creaciones artísticas de manera autónoma.

La utilización de la IA en la producción artística ha generalizado el acceso a la creación de obras, permitiendo que personas sin formación específica puedan experimentar con obras visuales de manera sencilla y rápida, provocando un cambio profundo en el arte, abriendo nuevas posibilidades. La integración de la creatividad humana con la tecnología permite el desarrollo de realidades virtuales y obras generativas autónomas, que expanden la forma de expresión artística. Esto no sólo modifica la creación, sino también la experiencia del público, haciendo que el arte sea más interactivo y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



personalizado. De esta manera, la IA se transforma en una herramienta fundamental para el futuro de la educación y la formación artística.[1]

Este proceso ha impulsado un aumento de contenido generado por IA en plataformas digitales, redes sociales y medios de comunicación. Sin embargo, también plantea riesgos para la labor de artistas gráficos, tales como la automatización, la reproducción sin control y la falta de regulación.[3]

Esto ha causado fuertes polémicas como la cuestión sobre los derechos de autor y el verdadero valor de las obras generadas presentes tanto en el mundo del arte como en el de las tecnologías.

Diversos especialistas advierten que estas herramientas ponen en riesgo los derechos de los creadores ya que reducen el tiempo de trabajo que antes demandaba horas o incluso meses y que requería de mano de obra pagada, lo que podría dejar desempleado a una parte de ellos.[1][5]

El presente trabajo plantea la siguiente situación problemática: **¿puede una inteligencia artificial ser considerada un artista auténtico?**

El objetivo principal de esta investigación es analizar los posibles riesgos de confusión en organizaciones con fines de lucro en el ámbito artístico y cómo estos pueden influir negativa o positivamente en su funcionamiento, así como también explicar e identificar diferencias entre obras de arte creadas por IA y obras creadas por individuos, mediante el análisis de encuestas. Y por último, Explorar las consecuencias legales y éticas derivadas del uso de inteligencia artificial en la creación de obras artísticas.

La hipótesis que orienta este trabajo sostiene que es posible que la inteligencia artificial no sea un artista en sentido formal, incluso con su capacidad para generar obras que se puedan considerar originales.

## 1 - Definiciones

En esta sección se definen ciertos conceptos mencionados con anterioridad y algunos relacionados sobre la inteligencia artificial y cómo funciona al momento de producir obras artísticas (subsección 1.1).

### 1.1 - Redes neuronales y machine learning

Cuando se habla de inteligencia artificial (IA), se refiere al campo de estudio que busca producir sistemas de información con la capacidad de replicar el pensamiento humano, el razonamiento y reconocimiento de patrones junto con su capacidad de aprendizaje, esto se logra a través de métodos como el Machine learning y el Deep Learning, siendo ambos subramas del desarrollo de IA. [7][2][4]

Machine Learning (ML) está dedicada al uso de algoritmos permitiendo el aprendizaje y la interpretación de datos así funcionando sin instrucciones exactas al momento de realizar una tarea.[2]

Luego está el Deep Learning, el cual es una subcampo del ML cuyo funcionamiento es a través de redes neuronales artificiales de alta complejidad permitiendo interpretar datos más complejos. [2]

Las Redes Neuronales Artificiales son modelos matemáticos que funcionan en capas de nodos conectados entre sí (figura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



1), procesando datos de entrada y generando nuevos datos de salida después de un análisis y aprendizaje de datos. Las redes neuronales artificiales están basadas en el funcionamiento de las redes neuronales biológicas. [2][7].



Figura 1. Representación gráfica de Redes Neuronales

**2 - La inteligencia artificial en el arte**

En esta sección se explica cómo la inteligencia artificial revolucionó el ámbito artístico e introdujo nuevas formas de creación y edición (subsección 2.2).

**2.2 - Aplicaciones de la inteligencia artificial**

El uso de la Inteligencia Artificial no solo permite la generación de obras originales en cuestión de segundos, sino que también amplía las posibilidades de intervención sobre piezas ya existentes. Gracias a su accesibilidad y rapidez, las aplicaciones de la IA se han convertido en herramientas de uso extendido tanto por artistas profesionales como por aficionados permitiendo su uso de distintas maneras.

Existen diversas aplicaciones de la inteligencia artificial en la generación del arte, desde algo simple como generar una imagen desde cero copiando o imitando distintos estilos artísticos ya sean de otros artistas, además de su uso como herramientas de edición en ciertos programas.

Generación de imágenes: Es una de las funciones más utilizadas, debido a que su uso es sencillo y de acceso público, su principal ventaja es la velocidad a la cual crea una imagen siendo esto mucho más rápido que realizarla manualmente.

Generativas: Dall-E, Deep Art, Midjourney, Sora.

Edición de imágenes: se usa frecuentemente, generalmente se incluye dentro de un programa de edición, utilizando imágenes ya existentes, con el fin de modificarlas, ya sea cambiando pequeños detalles hasta cambiarlas casi por completo.

Edición: Existen aquellas con distintas capacidades y funciones al estar incluidas en programas de edición. Se encuentra en programas famosos como Capcut, Photoshop entre otros. [10]

**3- Consecuencias de su uso**

En esta sección se habla de las consecuencias causadas por el uso de las IA en el ámbito artístico (subsección 3.1) y los problemas ecológicos que conlleva su utilización masiva (subsección 3.2).

**3.1- Consecuencias en el arte**

La Inteligencia Artificial ha transformado múltiples ámbitos de la sociedad y el arte

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



no es la excepción. Su incorporación genera entusiasmo por las nuevas posibilidades creativas, pero también controversias en torno a la autoría, la originalidad y el rol del artista humano,
Las consecuencias del uso de la inteligencia artificial en el arte son variadas, entre ellas se incluyen las relacionadas con la innovación, recreación e inspiración artística, a través de herramientas como DALL-E y DeepArt, las cuales son capaces de generar imágenes desde cero con descripciones dadas por el usuario, también recrean estilos de arte antiguos, modernos y de pintores famosos.

Sus consecuencias negativas se relacionan con las polémicas que se han dado dentro del ámbito artístico, de las cuales se pueden resaltar aquellas relacionadas a los derechos de autor, ya que al ser una obra de arte generada por una IA, no se le puede atribuir derechos de autor , además de muchas veces inspirarse en imágenes u obras ya existentes para hacer nuevas obras a partir de éstas sin tener la capacidad de crear algo original. Otro punto negativo para la inteligencia artificial en el arte, es que posiblemente en un futuro, trabajos como lo pueden ser diseñadores, sean reemplazados por la inteligencia artificial, ya que son más lentos y más costosos que la IA , lo cual puede afectar directamente en los estudiantes de arte, no sólo limitaría la salida laboral, sino que también podría afectar en el aprendizaje. [1]

Consecuencias positivas
Sus consecuencias positivas son bastante grandes siendo estas, que la generación de imágenes es muy accesible para todo el público, permitiendo que personas sin los conocimientos o formación para crear arte, puedan hacerlo, incluso si no tienen los materiales necesarios, ya que muchas de las plataformas de inteligencia artificial más usadas son de acceso gratuito.
A su vez, ayuda en la comprensión de estilos artísticos y aumenta la eficacia de varios procesos, como la generación de un boceto, o imágenes editadas de distintas formas.

### 3.2 - Problemas Ecológicos del uso de la IA

El uso de inteligencia artificial no viene sin sus propias consecuencias, durante su utilización el consumo de electricidad y agua es altamente elevado, se estima que desde el comienzo de la utilización masiva de IA en el entorno global, ha aumentado la cantidad de electricidad consumida en los últimos años. [11]

Esto es relevante porque el mayor contaminante de C02 para nuestro planeta es exactamente la producción de electricidad y calor, siendo que su uso ha aumentado significativamente cerca de un 46%. [11]

Otro recurso de suma importancia es el agua, que se utiliza para la refrigeración de las altas temperaturas que generan los componentes y máquinas encargadas de conseguir el funcionamiento de las IAs, siendo que el agua es desmineralizada o desionizada, lo que agrega otro paso a la contaminación y consumo de energía. [12]

El consumo de agua es uno de los elementos más preocupantes ya que el agua potable es un recurso escaso en nuestro planeta y solo se encuentra en una pequeña cantidad que se ha ido reduciendo con el paso de los años, aunque según el autor MSc. Jorge Chimarro de ¿PODRÍA LA IA CAUSAR UNA ESCASEZ GLOBAL DE

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



AGUA? publicado en agosto de 2024[12], no todas las empresas optan por usar agua potable, algunas reciclan agua, usan agua de mar o de residuos. [12]

El autor Jorge Chimarro estimaba que el consumo para el entrenamiento de chat gpt-3.0 era de 700.000 litros de agua, lo que comparó como "una cantidad cercana al consumo de una central nuclear".

Esto es de suma importancia ya que de cada 20-50 respuestas dadas por la IA se consumen 500 ml de agua, siendo esto algo muy elevado y aún más tomando en cuenta la popularidad que ha tomado en los últimos años teniendo que responder a gran cantidad de preguntas desde todos los lugares del mundo. [12]

## 4- Resultado de la encuesta sobre el uso la inteligencia artificial en arte

En esta sección, se exponen los datos obtenidos de la encuesta realizada a través de redes sociales, permitiendo obtener las perspectivas de otras personas con la finalidad de llegar a una respuesta. En esta sección se obtuvo información sobre la edad y género de (subsección 4.1), el nivel educativo (subsección 4.2), Utilización de la Inteligencia Artificial y motivos de uso (subsección 4.3).
Resultados obtenidos de su utilización (subsección 4.4), la posible Inspiración y enseñanza en el arte utilizando la IA (subsección 4.5) y la Conclusión general de la encuesta (subsección 4.6)

### 4.1- Edad y género

La encuesta reunió 60 respuestas. El 70% de los participantes fueron de género femenino, mientras que el otro 30% fue masculino (Figura 2); la edad predominante fue 18-25 años (38,3%), seguido de 12-18 (35%), 25-40 (15%) y más 40 (11,7%) (Figura 3).

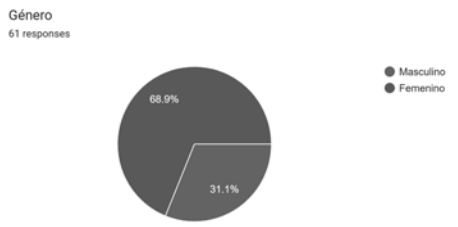



Figura 2. Gráfico género

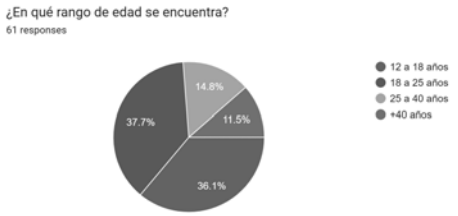



Figura 3. Gráfico ¿en qué rango de edad se encuentra?

### 4.2- Nivel educativo

En nivel educativo, el 41,7% posee secundario completo, 28,3% universitario, 11,7% terciario y porcentajes menores son estudios incompletos (Figura 4).

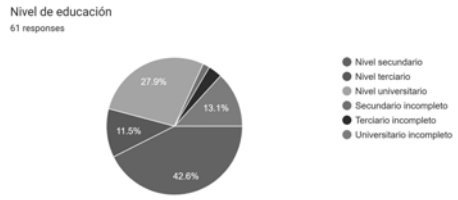



Figura 4. Gráfico, nivel de educación

### 4.3- Utilización de la Inteligencia Artificial y motivos de uso

El 83,3% afirmó haber usado IA para generar imágenes (Figura 5), aunque en su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mayoría con poca frecuencia (67,8%), un 11,9% lo hace con frecuencia y un 20,3% no la utiliza (Figura 6). Los principales fines fueron diversión (54,7%) y estudio (27,3%), seguidos por ocio (7,3%), trabajo (5,5%) y otros (5,5%) (Figura 7). Solo el 11,7% declaró ejercer una profesión vinculada al arte, mientras que el resto no (Figura 8).

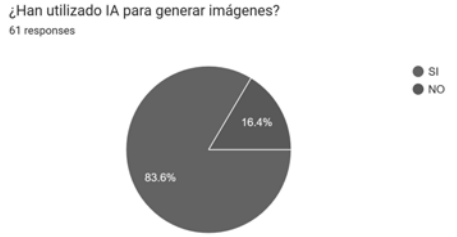



Figura 5. Gráfico ¿Han utilizado IA para generar imágenes?




Figura 6. Gráfico ¿Qué tan frecuentemente la usan para generar imágenes?




Figura 7. Gráfico ¿Con qué utilidad usan Inteligencia Artificial en el arte?

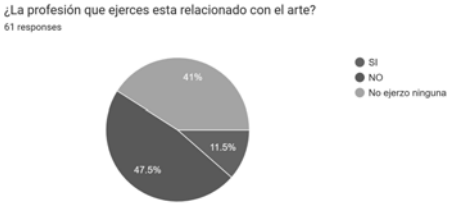



Figura 8. Gráfico ¿La profesión que ejerces está relacionada con el arte?

**4.4- Resultados de su uso**

Respecto a los resultados obtenidos, la mayoría los describió como buenos o muy buenos, aunque con a veces poco realismo. Varias respuestas dicen que depende de la claridad de la consigna y de la herramienta utilizada.

**4.5- Inspiración y enseñanza en el arte**

Por otro lado, el 60% consideró que la IA cambiará la enseñanza del arte, frente a un 40% que lo negó (Figura 9). Sobre el uso como fuente de inspiración, las respuestas se dividieron en 50% si y 50% que no (Figura 10).




Figura 9. Gráfico ¿Crees que la IA cambiará la forma de enseñanza en el arte?

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



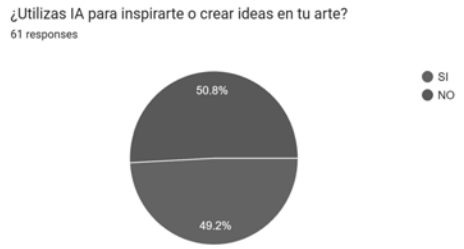



Figura 10. Gráfico ¿Utilizas IA para inspirarte o crear ideas en tu arte?

### 4.6- Conclusión general de la encuesta

Finalmente, respecto a si la IA puede ser una herramienta útil para artistas, la mayoría respondió afirmativamente, señalando que puede ayudar a inspiraciones, bocetos, entre otras cosas, aunque aclarando, no sustituye la creatividad humana ni el trabajo artístico profesional.

## Conclusión

En este trabajo se explicó el impacto de la inteligencia artificial en el arte desde una mirada crítica, reflexiva, y actual. Se analizaron tanto sus aplicaciones como consecuencias, destacando la accesibilidad, velocidad y capacidad de generación artística de la IA. Al mismo tiempo que se reconocieron los riesgos legales, éticos y laborales que conlleva su uso.

Si bien la IA permite que más personas se acerquen al arte y exploren nuevas formas de creación, también plantea preguntas complejas sobre la autoría, el valor de lo original y el lugar del artista humano en un entorno cada vez más automatizado. Esta dualidad obliga a repensar el rol de la creatividad en un mundo donde las máquinas también pueden crear.

El desafío no está en frenar el avance tecnológico, sino en aprender a integrarlo con responsabilidad. Solo así será posible construir un equilibrio entre la innovación y el respeto por quienes han dedicado su vida al arte como medio de expresión y oficio mientras mantenemos un consumo más consciente de los escasos recursos de nuestro planeta.

En sintonía con los resultados obtenidos en la encuesta, se refuerza la necesidad de un uso responsable y crítico de estas tecnologías.

**5- Agradecimientos**

Se agradece a los profesores Alberto M. Nigro, Patricia R. Cristaldo y Luciana Valiente por su orientación y apoyo durante la realización de este trabajo.

**6- Trabajos futuros**

Sería interesante investigar cómo la inteligencia artificial, podría aplicarse a la conservación la creación de exposiciones, interactivas, explorando nuevas formas de acercar el arte al público O también se podría analizar cómo podría ser usada para diseñar talleres creativos que fomenten la colaboración entre artistas humanos y máquinas, potenciando la innovación sin reemplazar al artista.

**8- Referencias**

[1]-P. D. Herrera Latorre, R. D. Orozco Poma, W. P. Núñez Sánchez, y P. A. Avalos Espinoza, «Inteligencia artificial en la educación artística: Retos y perspectivas », IS, vol. 7, n.º 2, mar. 2024. Disponible en: https://doi.org/10.59155/is.v7i2.170

[2]-F. Ortiz Arroba, «La inteligencia artificial y la transformación de las expresiones artísticas», URCC, n.º 10, pp. 65–84, jul. 2024. Disponible en: https://doi.org/10.32719/26312514.2024.10.4

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[3]-C. Aguilar Campos, «Inteligencia artificial: ¿aliada o adversaria de la creación gráfica? Artificial intelligence: ally or adversary of graphic creation?», LATAM, vol. 5, n.º 1, pp. 173 – 195, ene. 2024. Disponible en: https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/1579

[4]-J. Jironza Hidalgo, "Análisis de la implementación de Inteligencia Artificial como herramienta de postproducción digital audiovisual", nw, vol. 8, no. 2, pp. 165–177, Jul. 2024, Disponible en: https://doi.org/10.37785/nw.v8n2.a9

[5]-P. J. Albar Mansoa, «La Inteligencia Artificial de generación de imágenes en arte: ¿Cómo impacta en el futuro del alumnado en Bellas Artes?», ENCUENTROS. Revista de Ciencias Humanas, Teoría Social y Pensamiento Crítico., vol. 20, n.º Universidad Nacional Experimental Rafael Maria Baralt., pp. 145-164, oct. 2023. Disponible en: https://doi.org/10.5281/zenodo.10052355

[6]-Mundoarti«El arte con la inteligencia artificial» 10/06/2024. https://www.mundoarti.com/magazine/noticia/el-arte-con-inteligencia-artificial/

[7]Hugo Vega Huerta, Augusto Cortez Vásquez, Ana María Huayna, Luis Alarcón Loayza, Pablo Romero Naupar,«Reconocimiento de patrones mediante redes neuronales artificiales», Revista de Ingeniería de Sistemas e Informática vol. 6, N.º 2, Julio - Diciembre 2009 https://www.academia.edu/download/69282669/Reconocimiento_de_patrones_mediante_rede20210909-32063-jy2yll.pd

[8] *Concepto «Arte»* https://concepto.de/arte/

[9] *Fundación Mapfre « Qué es el Arte y para qué sirve»* https://www.fundacionmapfre.org/blog/que-es-arte-para-que-sirve/

[10] «Guía sobre IA Generativa», tipos y usos, covisian 24/07/2024 https://covisian.com/es/tech-post/guia-ia-generativa-tipos-segun-output-obtenido/

[11] G. . Concha Vargas, «Análisis preliminar del impacto ambiental de la Inteligencia Artificial», *RAV*, vol. 4, n.º 1, pp. 49–57, oct. 2024. https://zenodo.org/records/14028841

[12] MSc. Jorge Chimarro, «¿PODRÍA LA IA CAUSAR UNA ESCASEZ GLOBAL DE AGUA?», revista "praxis", número 4°, agosto. 2024. http://200.12.169.96/index.php/PRAXIS/article/view/636/670

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# TikTok, su algoritmo y cómo afecta el rendimiento de los alumnos de la Universidad

**Roude Franco, Traverso Lucca, Trigos Helena, Soto Camila, Teves Mateo, Tarifa Noemí, Trejo Federico, Alan Vanderdonckt**

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay (UTN FRCU)*

## Abstract

El presente trabajo analiza el impacto del algoritmo de TikTok en los estudiantes universitarios, con especial atención a cómo afecta su rendimiento académico, concentración y bienestar emocional. Se parte de como el diseño del algoritmo, se orienta a maximizar el tiempo de uso, genera patrones de consumo adictivo que afectan negativamente en la atención y la productividad. A través de una revisión bibliográfica y una encuesta aplicada a estudiantes de la UTN FRCU, se examinan los mecanismos del algoritmo, su vínculo con el capitalismo de vigilancia y las consecuencias cognitivas del uso excesivo de videos cortos. Finalmente, se proponen estrategias educativas para reducir sus efectos y fomentar un uso responsable de la plataforma.

## Palabras clave

TikTok – Algoritmo – Rendimiento académico – Atención – Redes sociales – Universidad

## Introducción

La investigación se centra en analizar el impacto del algoritmo de TikTok en los estudiantes de la Universidad. Diversos estudios advierten sobre los efectos negativos que esta aplicación puede generar en la salud mental, el rendimiento académico y la calidad de vida de los jóvenes universitarios. A pesar de su creciente uso y la gravedad del problema, esta situación continúa siendo subestimada por muchas instituciones, incluida nuestra facultad.

El problema principal consiste en cómo el diseño del algoritmo de TikTok estimula un consumo excesivo y adictivo de contenido, afectando la concentración, el uso del tiempo y la estabilidad emocional de los estudiantes.

El objetivo general es identificar los efectos negativos de TikTok sobre los alumnos de la universidad, evaluar su alcance académico y personal, y proponer medidas institucionales y regulatorias.

## Desarrollo

### 1. Funcionamiento del algoritmo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El algoritmo de TikTok determina qué contenido mostrar a cada usuario en función de múltiples variables, como las interacciones (me gusta, comentarios, compartidos), las características del video (hashtags, sonidos, duración, tipo de edición) y los datos del usuario y dispositivo (ubicación, idioma, cuentas seguidas).

Con estos datos, la aplicación construye perfiles personalizados para reforzar las preferencias individuales.

**2. El sistema y sus objetivos**

TikTok se enmarca en lo que Shoshana Zuboff denomina *capitalismo de vigilancia*, un modelo en el cual la experiencia humana se convierte en materia prima para la recolección y comercialización de datos. El objetivo principal es anticipar y moldear el comportamiento del usuario para optimizar la publicidad personalizada y maximizar la rentabilidad.

Las plataformas utilizan tecnologías persuasivas, como el botón de "me gusta", el desplazamiento infinito (*infinite scroll*) y la reproducción automática, que refuerzan la llamada *economía de la atención*, donde cada segundo de conexión genera valor económico.

**3. Efectos en los usuarios**

El uso excesivo de TikTok se asocia con mayores niveles de depresión, ansiedad, insomnio y bajo rendimiento académico. El impacto cognitivo es notorio: la exposición prolongada a videos cortos afecta la memoria de trabajo, la planificación y la atención sostenida.

Un estudio en adolescentes de entre 15 y 18 años mostró que el consumo elevado de estos contenidos se relaciona con menor actividad en la corteza prefrontal, región vinculada a la toma de decisiones y planificación. En cambio, un consumo moderado no presentó efectos negativos significativos.

**4. Falta de ética en la implementación del sistema**

El modelo de videos cortos, replicado por YouTube, Instagram y Facebook, se presenta como innovación pero en realidad busca maximizar el tiempo de uso. Estas plataformas no permiten desactivar funciones adictivas, generan burbujas informativas y explotan vulnerabilidades psicológicas sin informar riesgos, lo que plantea un dilema ético al anteponer el lucro al bienestar del usuario.

**5. Objetivos corporativos**

El objetivo principal de TikTok y plataformas similares es maximizar la retención del usuario mediante desplazamiento infinito, algoritmos predictivos y publicidad personalizada. Esto convierte la atención humana en un recurso comercializable, con implicancias directas sobre la salud mental y la productividad.

**6. Propuestas de regulación y mitigación**

Desde el ámbito educativo, se pueden implementar talleres sobre gestión del tiempo y concentración, fomentar actividades presenciales sin pantallas y promover el contenido académico dentro de la plataforma.

A nivel estatal, se sugieren medidas como auditorías independientes a los algoritmos, restricciones para menores, pausas obligatorias tras largos períodos de uso y publicación de métricas de riesgos.

## Trabajos relacionados

Diversos autores han abordado la relación entre redes sociales y atención. Hernández-Guevara et al. (2023) demostraron que los videos cortos afectan funciones ejecutivas. Chao et al. (2023) analizaron la dependencia a TikTok y su vínculo con la depresión. Por su parte, estudios divulgativos como *Metricool* (2025) y *Brown University*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Public Health Journal* (2021) explican los mecanismos psicológicos que refuerzan la adicción digital.

## Resultados, análisis y discusión

**Figura 1.** Tiempo promedio de uso diario de TikTok: el 38,2 % usa entre 1 y 2 horas al día; el 29,4 % no la utiliza; el 17,6 % supera las 3 horas.




**Figura 2.** Redes más usadas: WhatsApp (91,2 %), Instagram (82,4 %), YouTube (79,4 %).




**Figura 3.** Tiempo total en redes: el 47,1 % dedica entre 2 y 4 horas diarias, y el 26,5 % más de 4 horas.




**Figura 4.** Distracción: el 61,8 % reconoce que TikTok lo distrae mucho del estudio.




**Figura 5.** Interferencia académica: el 79,4 % dejó tareas por usar redes.




**Figura 6.** Impacto percibido: el 47,1 % lo considera moderado y el 11,8 % alto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



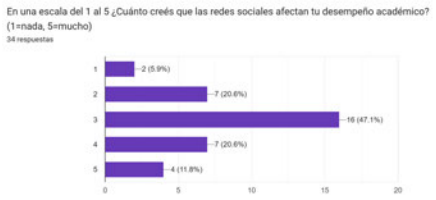



**Figura 7.** Reducción del uso: el 50 % cree que mejorarían mucho sus notas si disminuyeran su tiempo en redes.




**Figura 8.** Intentos de control: el 41,2 % logró limitar su uso exitosamente.




En general, los datos muestran que, aunque los estudiantes reconocen los efectos negativos del algoritmo, muchos buscan estrategias de autorregulación y perciben un potencial educativo en las redes.

## Conclusión y trabajos futuros

TikTok, mediante su algoritmo de recomendación, ejerce una influencia significativa sobre la atención y el rendimiento académico de los estudiantes. Su diseño persuasivo, centrado en la gratificación inmediata, fomenta hábitos de consumo excesivo que afectan la concentración y la planificación.

Los resultados confirman la existencia de un problema real en la gestión del tiempo y la productividad estudiantil. Sin embargo, también reflejan una toma de conciencia creciente: la mitad de los encuestados considera que reducir su uso mejoraría su rendimiento, y muchos intentan autorregularlo.

Como trabajo futuro, se propone ampliar la muestra, incluir variables de rendimiento académico medible (promedios, materias aprobadas) y analizar comparativamente otras plataformas. Asimismo, es necesario fomentar políticas institucionales que promuevan el uso responsable de las redes sociales como herramientas de aprendizaje.

## Agradecimientos

Agradecemos a la profesora **Patricia Cristaldo** por su acompañamiento y orientación durante el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

[1] Martín, S. (2025, 10 de enero). *Algoritmo de TikTok en 2025: cómo funciona.* Metricool. https://metricool.com/es/algoritmo-tiktok/

[2] Wikipedia. (2025, 17 de julio). *Surveillance capitalism.* En Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Surveillance_capitalism

[3] Chao, M., Lei, J., He, R., Jiang, Y., & Yang, H. (2023). *TikTok use and psychosocial*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*factors among adolescents. Psychiatry Research, 325.*

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165178123001889

[4] Hernández-Guevara, L. E., Ortega-Andrade, N. A., & Valencia-Ortiz, A. I. (2023). *Efecto del consumo de videos de formato corto en las funciones ejecutivas en adolescentes. Transdigital, 4(7),* 1–20. https://doi.org/10.56162/transdigital437

[5] Brown University Public Health Journal. (2021). *What Makes TikTok so Addictive?*

https://sites.brown.edu/publichealthjournal/2021/12/13/tiktok/

[6] *The Endless Scroll: How Short-Form Content is Reshaping Our Minds and Lives.* (2025).

https://countercurrents.org/2025/02/the-endless-scroll-how-short-form-content-is-reshaping-our-minds-and-lives

[7] *La "tiktokización" de los negocios: cómo los algoritmos predictivos están ganando la batalla.* (2022). *La Nación.*

https://www.lanacion.com.ar/economia/negocios/la-tiktokizacion-de-los-negocios

[8] *Social Media Algorithms: How They Control What We See.* (2025). *Science News Today.*

https://www.sciencenewstoday.org/social-media-algorithms-how-they-control-what-we-see

[9] Metricool. (s.f.). *¿Qué es el CPM?* https://metricool.com/es/que-es-cpm/

## Datos de contacto

**Franco Roude** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260. francoroude17@gmail.com*
**Lucca Traverso** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260. luccatraver@gmail.com*
**Camila Soto** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260. camilaconstanzasotomaris@gmail.com*
**Helena Trigos** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260. trigoshelena@gmail.com*
**Federico Trejo** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260.*
**Noemi Tarifa** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260.*
**Alan Vanderdonckt** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260.*
**Mateo Teves** – *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, CP 3260. mateteves0@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Optimización de trayectorias para robots móviles de rescate en entornos colapsados mediante algoritmos genéticos

**Aguaya, Julia – Andriollo, Isabella – Feldkircher, Valentín**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario***

**Abstract**

*Este trabajo aborda el problema de la planificación de trayectorias para robots móviles en entornos colapsados, caracterizados por obstáculos irregulares, incertidumbre y dinamismo. Se propone la aplicación de un algoritmo genético como alternativa a los métodos clásicos de búsqueda, como A*, con el objetivo de mejorar la adaptabilidad y eficiencia en escenarios de rescate. La metodología incluyó el desarrollo de un entorno de simulación 2D basado en cuadrículas, que representa un edificio colapsado con diferentes tipos de obstáculos (livianos y pesados). Para ello se generó una población inicial de trayectorias aleatorias, se evaluó su aptitud penalizando colisiones y premiando la llegada a la meta, y se aplicaron operadores genéticos (selección por ruleta, cruzamiento, mutación y elitismo). Los resultados demuestran que el algoritmo genético genera caminos viables con longitudes similares a las de A*, pero con una adaptabilidad superior en entornos complejos y dispersos. Se concluye que los algoritmos genéticos son una herramienta prometedora para la planificación de trayectorias en contextos de rescate, ofreciendo un balance óptimo entre eficiencia y robustez frente a la incertidumbre ambiental.*

**Palabras Clave**

Robótica móvil; Algoritmos genéticos; Planificación de trayectorias; A*; Rescate en entornos colapsados; Simulación.

## Introducción

En los últimos años, la robótica de rescate ha adquirido una importancia creciente debido a la necesidad de intervenir en situaciones críticas como terremotos, explosiones o derrumbes estructurales, donde el acceso rápido y seguro a las víctimas es fundamental. En estos escenarios, los robots móviles se convierten en aliados estratégicos al poder ingresar en zonas de difícil acceso o peligrosas para los rescatistas humanos, contribuyendo a reducir riesgos y optimizar los tiempos de búsqueda.

Sin embargo, los entornos colapsados presentan características altamente dinámicas y parcialmente desconocidas, marcadas por la presencia de escombros, muros caídos, vigas entrecruzadas y obstáculos de distinta naturaleza. Estas condiciones imponen serias limitaciones a los métodos clásicos de planificación de trayectorias, como el algoritmo A*, el cual, si bien garantiza soluciones óptimas en entornos estáticos, pierde eficacia en escenarios donde la configuración del terreno cambia constantemente.

Diversos estudios han documentado la complejidad de los derrumbes. Por ejemplo, un colapso total de un edificio de 10 pisos de hormigón armado puede generar entre 3.000 y 5.000 toneladas de escombros, ocupando un área aproximada de 1.500 a 2.500 m², con alturas de acumulación promedio de 1,5 a 2 metros. Estos restos presentan una distribución heterogénea, alternando zonas de alta densidad casi intransitables con corredores de baja densidad que podrían ser aprovechados para el desplazamiento robótico. Este tipo de características hace necesario contar con algoritmos capaces de adaptarse y aprender en tiempo real.

En este contexto, los Algoritmos Genéticos (AG) se plantean como una alternativa prometedora. Inspirados en los principios de selección natural, los AG permiten explorar simultáneamente múltiples trayectorias, adaptarse a cambios inesperados en el en-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



torno y optimizar criterios como seguridad, distancia y tiempo de recorrido. De este modo, el presente trabajo busca explorar la viabilidad del uso de algoritmos genéticos en la planificación de trayectorias de robots móviles en entornos colapsados, comparando sus resultados con el algoritmo A* como referencia tradicional.

### Elementos del Trabajo y Metodología

Este trabajo se enmarca en la simulación y análisis de técnicas de planificación de trayectorias aplicadas a robots móviles en entornos colapsados. Para ello, se diseñó un entorno computacional en dos dimensiones (2D), con parámetros ajustables que permiten representar diferentes configuraciones de escombros y obstáculos, semejantes a los que se presentan en escenarios de derrumbe.

### Entorno de simulación

El mapa de trabajo corresponde a una cuadrícula de $10 \times 10$ celdas, donde cada celda puede adoptar uno de los siguientes estados:

- **Obstáculo Liviano (1):** zona atravesable pero con penalización en la función de aptitud, simulando escombros livianos.
- **Obstáculo Pesado (2):** zona infranqueable, que representa muros o vigas colapsadas.
- **Camino (3-4):** trayectoria recorrida por el robot, diferenciando si el paso fue por celdas libres o por escombros livianos.

La posición inicial se fijó en la esquina superior izquierda de la cuadrícula, mientras que la meta se ubicó en la esquina inferior derecha. Esta disposición busca emular un ingreso a la zona afectada y un objetivo específico de rescate.

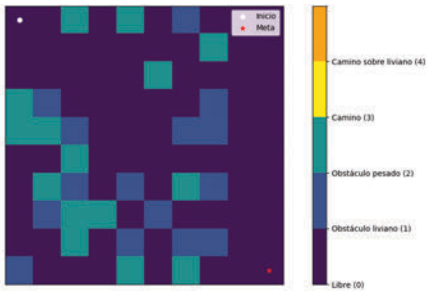



Figura 1: Ejemplo de cuadrícula $10 \times 10$ con obstáculos distribuidos aleatoriamente.

### Función de Aptitud

La función de aptitud fue diseñada para guiar la búsqueda de trayectorias viables y seguras, asignando penalizaciones o recompensas en función de las características del recorrido. El valor de aptitud final se obtiene como la suma de diferentes componentes:

- **Revisitas y retrocesos:** cada vez que el robot vuelve a una celda ya visitada se penaliza con $P_{\text{revisita}} = 10$, y si se detecta un retroceso tipo A-B-A se agrega $P_{\text{backtracking}} = 15$.
- **Obstáculos livianos:** atravesar una celda con escombros livianos genera un costo de $P_{\text{liviano}} = 20$.
- **Movimientos inválidos:** cada intento de salir de los límites del mapa recibe una penalización de $P_{\text{fuera}} = 8 \times (\text{número de intentos})$.
- **Llegada a la meta:** si el individuo alcanza la meta, se otorga una recompensa de $R_{\text{meta}} = -600 + (\text{longitud del camino})$.
- **Distancia a la meta:** si no se llega al objetivo, se penaliza con $P_{\text{distancia}} = 6 \times d_{\text{Manhattan}}$.
- **Pasos redundantes:** se añade una penalización leve proporcional a la longitud del recorrido, $P_{\text{redundante}} = 0{,}2 \times (\text{número de pasos})$, que busca favorecer caminos más directos sin castigar en exceso la exploración.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En síntesis, la función de aptitud puede expresarse como:

$$F = P_{\text{revisitas}} + P_{\text{backtracking}} + P_{\text{liviano}} \quad (1)$$
$$+ P_{\text{fuera}} + P_{\text{distancia}} + R_{\text{meta}} \quad (2)$$

donde un valor más bajo de $F$ indica un mejor desempeño. Esta versión refinada reduce la redundancia de pasos y promueve trayectorias más directas, contribuyendo a una convergencia más estable del algoritmo genético.

**Algoritmo Genético (AG)**

Se implementó un Algoritmo Genético (AG) canónico, técnica inspirada en los procesos evolutivos naturales y ampliamente utilizada en problemas de optimización [2].

- **Codificación:** cada individuo representa una secuencia de movimientos posibles (arriba, abajo, izquierda, derecha), con un máximo de 35 pasos, siguiendo enfoques similares a los empleados en planificación robótica [10].
- **Población inicial:** generada de forma aleatoria, con un tamaño de 200 individuos, en línea con configuraciones reportadas en la literatura [11].
- **Evaluación de aptitud:** se diseñó una función que penaliza colisiones con obstáculos, movimientos fuera del mapa, retrocesos innecesarios y pasos sobre escombros livianos. Se premia la llegada a la meta con un fuerte incentivo negativo en el puntaje, favoreciendo soluciones viables. Este esquema sigue recomendaciones de evaluación para entornos dinámicos [6].
- **Selección:** método de ruleta invertida, donde los individuos con menor puntaje poseen mayor probabilidad de ser seleccionados [2].
- **Cruzamiento:** de un punto, combinando segmentos de dos padres para generar descendencia.
- **Mutación:** aplicada con una probabilidad del 5 %, cambiando aleatoriamente un movimiento dentro de la secuencia [15].
- **Elitismo:** se conservó el mejor individuo de cada generación, estrategia común para evitar pérdida de soluciones óptimas [10].
- **Generaciones:** el proceso se repitió durante 400 generaciones.

**Algoritmo A***

Como referencia, se implementó el algoritmo A*, ampliamente utilizado en la planificación de trayectorias [1]. Este método heurístico garantiza la ruta óptima en entornos estáticos, pero no contempla adaptabilidad frente a cambios imprevistos en el terreno [16].

Su comparación con el AG permite evaluar la capacidad de este último para encontrar soluciones cercanas a las óptimas, incluso en escenarios complejos, lo cual resulta especialmente relevante en situaciones de rescate [6].

**Procedimiento experimental**

1. **Generación del mapa alcanzable:** se crean configuraciones de obstáculos hasta garantizar que exista al menos un camino entre inicio y meta.
2. **Ejecución del AG:** se ejecuta el algoritmo genético sobre el mapa, registrando el mejor individuo y su trayectoria en cada ejecución.
3. **Ejecución de A*:** se aplica el algoritmo clásico al mismo mapa para obtener la ruta de referencia.
4. **Comparación de resultados:** se analizan métricas como longitud del camino, número de pasos sobre obstáculos y capacidad de alcanzar la meta.

Este enfoque metodológico permite no solo evaluar el desempeño de los algoritmos en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



condiciones simuladas, sino también proyectar su aplicabilidad a situaciones reales de rescate, donde la incertidumbre y la variabilidad del entorno son factores determinantes.

**Resultados**

Los resultados obtenidos permiten comparar el desempeño del **algoritmo genético (AG)** frente al método clásico de búsqueda de trayectorias **A***.

En la ejecución del AG con elitismo, se observó que el mejor individuo alcanzó una **aptitud de -473**, valor que corresponde al puntaje de la función de aptitud definida en este trabajo. Este valor no representa una métrica universal, sino que combina penalizaciones y recompensas:

- Penalizaciones por pasos redundantes, colisiones con obstáculos livianos o intentos fuera del mapa.
- Recompensa elevada ($-600$) por alcanzar la meta.

Por lo tanto, un valor de **-473 indica que el algoritmo efectivamente alcanzó la meta**, aunque con ciertas penalizaciones acumuladas durante el trayecto (retrocesos y pasos innecesarios).

El mejor individuo generado por el AG logró un **camino de 23 pasos** desde la posición inicial hasta la meta. En contraste, el algoritmo A* encontró un camino más corto de **21 pasos**, lo que confirma su eficiencia en entornos estáticos y bien definidos, donde la heurística Manhattan permite garantizar la solución óptima [1].

Sin embargo, los experimentos también mostraron que el AG exploró múltiples combinaciones de movimientos antes de converger, lo que le permitió **adaptarse a distintas configuraciones de obstáculos**. Por ejemplo:

- En mapas con **mayor densidad de obstáculos livianos**, el AG logró encontrar trayectorias alternativas evitando zonas de alto costo, mientras que A* tendía a bloquearse o alargar demasiado el recorrido.
- En mapas con **caminos estrechos rodeados de escombros pesados**, el AG consiguió soluciones viables en varias corridas, aunque más largas, mientras que A* falló en algunos casos al no encontrar trayectorias libres.

Estos resultados respaldan la afirmación de que, si bien A* es superior en escenarios estáticos, el AG muestra **mayor flexibilidad y adaptabilidad** frente a entornos dinámicos o inciertos, lo que lo convierte en una herramienta prometedora para la planificación de trayectorias en contextos de rescate [6, 10].

**Resultados gráficos**

En la Figura 2 se observa el camino encontrado por el algoritmo genético con elitismo, el cual recorre un trayecto válido pero con una longitud mayor en comparación al resultado de A*. Por otro lado, en la Figura 3 se muestra el camino óptimo obtenido mediante A*, el cual resulta más corto y directo hacia la meta.

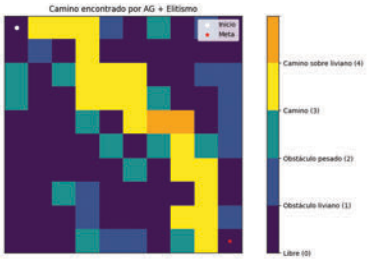



Figura 2: Camino encontrado por el algoritmo genético con elitismo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



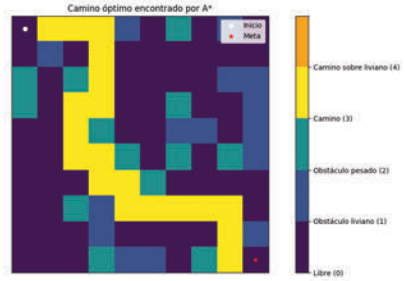



Figura 3: Camino óptimo encontrado por el algoritmo A*.

En la Figura 4 se aprecia cómo la aptitud del mejor individuo desciende bruscamente durante las primeras generaciones, lo que indica una rápida mejora inicial en la calidad de las soluciones. Posteriormente, ambas curvas —la del mejor individuo y la del promedio poblacional— tienden a estabilizarse, señalando la convergencia del algoritmo. Este comportamiento evidencia la capacidad del algoritmo genético para explorar el espacio de búsqueda y refinar progresivamente las trayectorias, manteniendo la diversidad en la población durante las primeras etapas del proceso evolutivo.

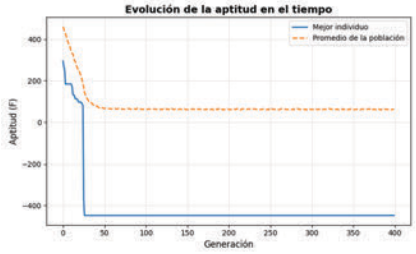



Figura 4: Evolución de la aptitud en el tiempo.

**Discusión**

El análisis de los resultados permite identificar varias tendencias y diferencias entre el **algoritmo genético (AG)** y el algoritmo clásico **A***.

En primer lugar, destacamos que nuestro experimento se basó en múltiples ejecuciones del AG bajo distintas configuraciones de obstáculos. En todas ellas se observó que el AG con elitismo fue capaz de generar trayectorias viables en un entorno altamente complejo, caracterizado por la presencia de obstáculos pesados, livianos y áreas libres. Aunque la trayectoria obtenida en el mejor caso analizado (23 pasos) no fue estrictamente óptima frente a la generada por A* (21 pasos), la diferencia en longitud fue relativamente pequeña y consistente en la mayoría de las simulaciones. Esto indica que el AG logra una **aproximación satisfactoria a la solución ideal**, aun cuando no esté diseñado para garantizar resultados óptimos en todos los casos [2, 3].

Desde el punto de vista de implementación, el código del AG destacó en varios aspectos. La función de aptitud fue clave para orientar la búsqueda, ya que penalizó retrocesos, pasos redundantes y movimientos fuera de mapa, a la vez que premió fuertemente la llegada a la meta. Este diseño explica por qué los individuos que alcanzaban el objetivo se mantenían en generaciones posteriores gracias al elitismo. En contraste, A* operó de manera determinista, siempre hallando la ruta más corta en escenarios alcanzables, pero sin la capacidad de explorar soluciones alternativas.

Un aspecto relevante es que el AG tiende a **explorar soluciones más diversas** debido a su naturaleza estocástica. A diferencia de A*, que garantiza la ruta más corta bajo condiciones estáticas [1], el AG genera múltiples posibilidades de caminos gracias a los operadores genéticos de selección, cruce y mutación. Esta diversidad constituye una ventaja en entornos dinámicos o parcialmente desconocidos, donde el camino óptimo puede variar con el tiempo ante nuevos obstáculos o derrumbes [10, 8].

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis inicial: los algoritmos genéticos ofrecen una mayor **adaptabilidad** frente a escenarios cambiantes. El elitismo incorporado permitió conservar las mejores soluciones a lo largo de las generaciones, evitando pérdidas de información valiosa durante la evolución. No obstante, también se observaron limitaciones: en algunos casos el algoritmo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



generó trayectorias con pequeñas repeticiones o desvíos, producto de la codificación cromosómica empleada [5].

En términos de **costo computacional y escalabilidad**, A* demostró ser más eficiente en mapas estáticos de tamaño moderado, pero su desempeño se degrada cuando el entorno se vuelve dinámico, ya que requiere recalcular la ruta completa ante cada cambio [7]. El AG, en cambio, mantiene un rendimiento más estable, aunque su costo crece casi linealmente con el tamaño de la población y el número de generaciones. Este comportamiento es esperable en métodos evolutivos, pero puede optimizarse mediante codificaciones más compactas, paralelización del proceso o enfoques híbridos que combinen búsqueda determinista y evolución estocástica.

Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas en robótica de rescate, donde los algoritmos evolutivos han sido propuestos como alternativas para enfrentar entornos inciertos [6, 11]. De hecho, **enfoques híbridos recientes** buscan integrar la optimalidad garantizada de A* con la flexibilidad adaptativa del AG [8, 16].

En síntesis, los resultados [2, 1, 6] ponen de manifiesto que el AG no pretende reemplazar completamente a los algoritmos deterministas, sino complementarlos. Mientras A* continúa siendo la opción más eficiente para mapas estáticos y completamente conocidos, el AG ofrece una **capacidad superior de exploración y adaptación**, especialmente valiosa en entornos colapsados donde las condiciones cambian constantemente y la rapidez en la generación de soluciones es crucial para un rescate exitoso.

## Conclusión

El trabajo desarrollado permitió comprobar la viabilidad de aplicar algoritmos genéticos (AG) a la planificación de trayectorias en escenarios de rescate simulados. Los resultados mostraron que, frente al algoritmo A*, el AG generó rutas funcionales con una diferencia reducida en longitud (23 pasos frente a 21), evidenciando su competitividad aun sin garantizar optimalidad estricta.

En cuanto a los aportes, se destacó la alta capacidad de exploración y adaptación del AG, potenciada por el elitismo y los operadores evolutivos. Esta característica lo posiciona como una alternativa útil en entornos dinámicos o parcialmente conocidos, donde los métodos deterministas pierden eficiencia.

No obstante, se identificaron limitaciones propias del enfoque evolutivo, como la generación de trayectorias con pasos redundantes, el costo computacional en escenarios simples y la falta de una garantía formal de optimalidad, en línea con hallazgos previos [10, 11].

Como líneas futuras, se propone: (i) refinar la función de aptitud para reducir pasos innecesarios, (ii) implementar variantes del AG con codificación adaptativa, (iii) desarrollar enfoques híbridos que integren AG con algoritmos deterministas como A*, y (iv) ampliar la simulación a entornos tridimensionales para aproximarse mejor a escenarios reales de rescate. Estos avances contribuirán a consolidar el uso de algoritmos evolutivos como herramientas complementarias en la robótica de búsqueda y rescate.

## Referencias

[1] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael, “A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths,” *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, vol. 4, no. 2, pp. 100–107, 1968. https://ai.stanford.edu/~nilsson/OnlinePubs-Nils/PublishedPapers/astar.pdf

[2] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1989. https://www2.fiit.stuba.sk/~kvasnicka/Free%20books/Goldberg_Genetic_Algorithms_in_Search.pdf

[3] M. Mitchell, *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT Press, Cambridge, MA, 1998. https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=0eznlz0TF-IC

[4] CVUT FEL, *Introduction to Artificial Intelligence Lecture Notes*, 2023. https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a4m36pah/lecture01.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[5] A. E. Eiben and J. E. Smith, *Introduction to Evolutionary Computing*. Springer, Berlin, 2003. https://www.researchgate.net/publication/216300585_Introduction_To_Evolutionary_Computing

[6] R. R. Murphy, "Human-robot interaction in rescue robotics," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 34, no. 2, pp. 138–153, 2004. https://www.researchgate.net/publication/3421560_Human-Robot_Interaction_in_Rescue_Robotics

[7] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd edition. Prentice Hall, 2010. http://repo.darmajaya.ac.id/5272/1/Artificial%20Intelligence-A%20Modern%20Approach%20(3rd%20Edition)%20(%20PDFDrive%20).pdf

[8] K. Deb, *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. Wiley, Chichester, 2001. https://www.researchgate.net/publication/220045365_Multiobjective_Optimization_Using_Evolutionary_Algorithms_Wiley_New_York

[9] X. Zhang, "Research and Optimization of D-Start Lite Algorithm in Track Planning," *ResearchGate*, 2019. https://www.researchgate.net/publication/344148324_Research_and_Optimization_of_D-Start_Lite_Algorithm_in_Track_Planning

[10] Y. Cai and S. Yang, "A genetic algorithm for path planning of rescue robots in dynamic environments," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 1–9, 2015. https://www.researchgate.net/publication/224744349_Genetic_algorithm_based_path_planning_for_a_mobile_robot

[11] H. Liu and G. Arslan, "Path planning for mobile robots using genetic algorithms," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 85, pp. 329–340, 2017. https://www.researchgate.net/publication/4113354_Path_planning_for_a_mobile_robot_using_genetic_algorithms

[12] N. Mavridis, "A review of verbal and non-verbal human–robot interactive communication," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 63, pp. 22–35, 2015. https://www.researchgate.net/publication/259804770_A_Review_of_Verbal_and_Non-Verbal_Human-Robot_Interactive_Communication

[13] U.S. Geological Survey (USGS), https://www.usgs.gov/

[14] Manual de Derrumbes, https://studylib.net/doc/25496392/manual-de-derrumbes

[15] T. Bäck and M. Schütz, "Intelligent mutation rate control in canonical genetic algorithms". In: Raś, Z.W., Michalewicz, M. (eds) Foundations of Intelligent Systems. ISMIS 1996. Lecture Notes in Computer Science, vol 1079. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-61286-6_141

[16] H. Liu, J. Cao and Z. Wang, "Research on path planning of mobile robot in complex environment". Discov Appl Sci 7, 330 (2025). https://doi.org/10.1007/s42452-025-06713-y

**Datos de contacto**

*Aguaya, Julia – UTN FRRo – juliaag@live.com*

*Andriollo, Isabella – UTN FRRo – isabellaandriollo30@gmail.com*

*Feldkircher, Valentín – UTN FRRo – vlnfeldkircher@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Modelado computacional de la dinámica de factores de transcripción en condrogénesis: SP1, RUNX2 y ETS1

**Paratore, Eneas; Ramírez, Facundo**
**Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario**

**Abstract**
*El presente estudio desarrolla y valida un modelo computacional de la dinámica temporal de tres factores de transcripción clave en la condrogénesis (SP1, RUNX2 y ETS1). El modelo propuesto es un esquema simplificado y exploratorio diseñado para generar hipótesis y detectar tendencias generales en la dinámica de factores de transcripción, más que para ofrecer predicciones cuantitativas definitivas, por lo que sus resultados deben contrastarse con datos experimentales. Utilizamos un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que combina términos de síntesis dependientes de una función sigmoide de activación y términos de degradación de primer orden. Las simulaciones se integraron con el método adaptativo LSODA (solve_ivp) sobre un horizonte temporal de 168 h con pasos de 0.5 h y condiciones iniciales basales. La búsqueda de parámetros óptimos se llevó a cabo mediante un algoritmo genético elitista (población inicial 42, 14 generaciones, elitismo = 3) con operadores de crossover y mutación ajustados por rango fisiológico. La función objetivo fue la distancia euclidiana frente a un vector target (SP1=0.9; RUNX2=1.0; ETS1=0.8), penalizando la complejidad y premiando la rapidez de alcance del objetivo. Incorporamos ruido biológico (RMS = 12%) para evaluar la robustez. El ajuste con AG+LSODA reproduce el perfil objetivo: RUNX2 responde rápido, SP1 se acumula lentamente y ETS1 es el más sensible. Para convertirlo en predicciones cuantitativas se requiere modelar ruido intrínseco/extrínseco, realizar análisis de sensibilidad e identificabilidad y validar trayectorias con muestreos temporales dirigidos.*

**Palabras Clave**
Condrogénesis, Factores de transcripción, Ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO), Algoritmo genético, Biología de sistemas.

## Introducción

La condrogénesis es el proceso biológico mediante el cual se forma el cartílago a partir de células mesenquimatosas o condrogénicas (precursores del cartílago). Este es un proceso multicelular y temporalmente regulado donde la interacción de factores de transcripción define transiciones de estado desde progenitores neuroectodérmicos hasta condrocitos maduros. Estos factores de transcripción son proteínas que regulan la expresión génica al unirse a secuencias específicas del ADN en la región promotora de los genes. Comprender la dinámica conjunta de reguladores como SP1, RUNX2 y ETS1 (factores de transcripción) es esencial para diseñar intervenciones en regeneración y modelado de enfermedades. Los modelos matemáticos permiten integrar producción, degradación e interacciones para explorar ventanas temporales críticas y predecir comportamientos emergentes bajo variabilidad estocástica.

Cabe señalar que el modelo propuesto constituye un modelo simplificado, cuyo propósito principal es explorar dinámicas plausibles y generar hipótesis, más que ofrecer predicciones cuantitativas definitivas. En este sentido, su valor radica en la capacidad de integrar conceptos y señalar tendencias generales que luego

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



deberán contrastarse con datos experimentales.

Objetivos del estudio:

- Construir un modelo determinista-estocástico de la dinámica de SP1, RUNX2 y ETS1.
- Optimizar parámetros (producción, degradación, interacción) para reproducir un perfil objetivo de proliferación condrocítica en 168 h.
- Evaluar la robustez frente a ruido biológico y proporcionar recomendaciones experimentales y computacionales.

**Elementos del trabajo y metodología**

*Representación del sistema*

Cada factor de transcripción i se describe por su concentración $y_i(t)$. La dinámica se define por la EDO:

$$\frac{dy_i}{dt} = tasa\ producción - tasa\ degradación$$

$$tasa\ producción = producción_i \times activación_i$$

$$tasa\ degradación = degradación_i \times y_i$$

donde la activación tiene la forma sigmoide:

$$activación = \frac{1}{1+e^{1-(interacción \times \Sigma y)}}$$

Este esquema captura umbrales no lineales y efectos cooperativos entre factores.

*Parámetros iniciales y rangos fisiológicos*

Se definieron tres bloques por proteína: Producción, Degradación e Interacción. Los rangos empleados fueron:

- SP1:
  Producción [0.10, 2.00];
  Degradación [0.03, 0.30];
  Interacción [-3.0, 3.0]
- RUNX2:
  Producción [0.05, 1.50];
  Degradación [0.05, 0.60];
  Interacción [-4.0, 4.0]
- ETS1:
  Producción [0.02, 1.00];
  Degradación [0.10, 0.80];
  Interacción [-3.0, 3.0]

Condiciones iniciales:
[SP1, RUNX2, ETS1] = [0.4, 0.05, 0.1].

*Integración numérica*

Se utilizó solve_ivp (SciPy) con método adaptativo LSODA para integrar durante 168 h con pasos efectivos de 0.5 h (336 pasos). LSODA permite alternar entre métodos explícitos e implícitos para manejar rigidez variable en sistemas bioquímicos.

*Ruido biológico*

Se añadió un término de ruido multiplicativo/porcentual con RMS del 12% para simular heterogeneidad intrínseca y micro-variaciones ambientales. Esto permite evaluar la robustez de soluciones óptimas.

*Función objetivo y penalizaciones*

Vector objetivo: [SP1=0.9, RUNX2=1.0, ETS1=0.8]. Se calculó la distancia euclidiana entre la trayectoria simulada (valor en t = 168 h o mínimo alcanzado) y el objetivo.

Penalizaciones y recompensas:

- Penalización por complejidad: 0.001 · suma de los absolutos de cada parámetro.
- Recompensa por alcanzar el target en <5%: -0.1 / t_reached (inversamente proporcional al tiempo de alcance).

La puntuación para selección de ruleta se transformó a score = 1 / (1 + fitness).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



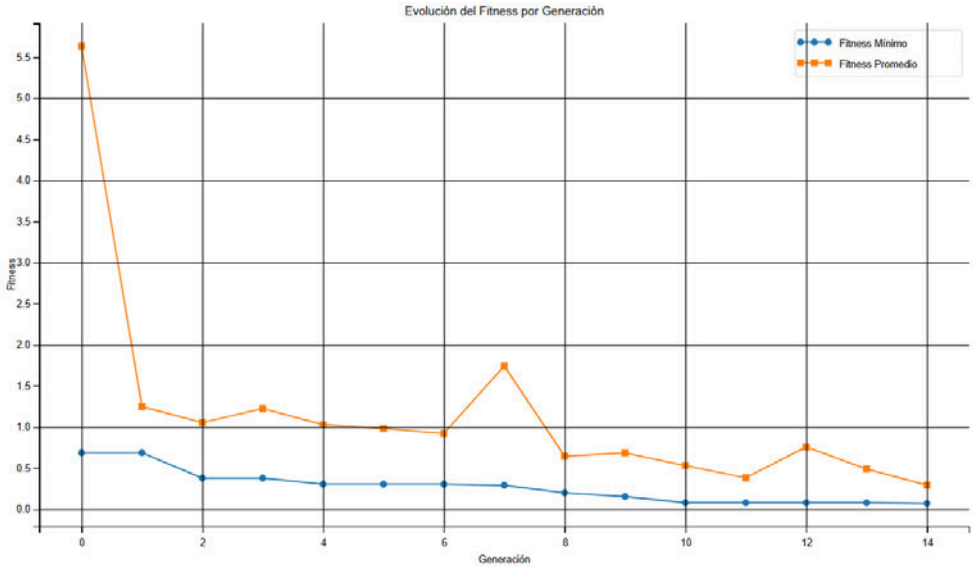



*Figura 1*

*Optimización: algoritmo genético*

Para la selección de hiper-parámetros, realizamos una comparación sistemática de configuraciones con el objetivo de identificar la combinación más eficiente (fitness mínimo y promedio en relación a las generaciones evaluadas) y más precisa (distancia al target según las generaciones evaluadas con respecto al total de generaciones en estudio). Se exploraron valores de tamaño de población entre 10 y 100 individuos y un rango de número de generaciones entre 1 y 200. Asimismo, se evaluaron dos esquemas para la asignación inicial de parámetros: (i) el uso del valor central de cada rango y (ii) una distribución uniforme dentro de los rangos definidos. Optamos por la segunda estrategia, ya que reproduce de manera más realista variabilidad natural y el ruido estocástico inherentes a los sistemas biológicos.

- Población: 42 cromosomas
- Generaciones: 14
- Selección: torneo (opción ruleta) con elitismo de los 3 mejores
- Crossover: probabilidad 80%, constante alpha = 0.15 (permite transgresión)
- Mutación: probabilidad por gen 15% con desvío estándar por tipo de parámetro:
    - Producción: 12% del rango
    - Degradación: 8% del rango
    - Interacción: 20% del rango

Se ejecutó evaluación paralela (multiprocessing) y caché de resultados.

**Resultados**

*Resumen ejecutivo.* El algoritmo genético mostró (Figura 1) una mejora rápida durante las primeras generaciones y alcanzó su mejor solución en la generación donde min = 0.0689896 (mejor fitness encontrada = 0.06898960179455751)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



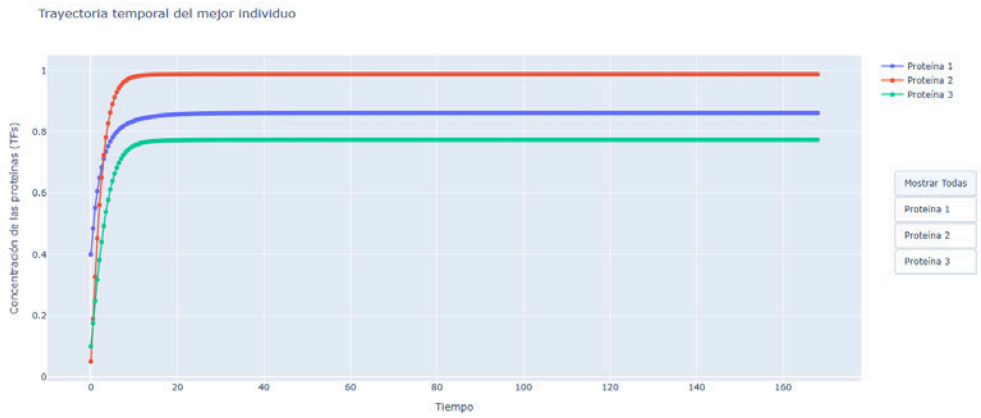



*Figura 2*

*Evolución del algoritmo genético*
La evolución registrada en las generaciones presenta una caída sostenida del mínimo de fitness desde Gen 0 (min = 0.6869) hasta Gen 14 (min = 0.06899), con variaciones en el valor promedio debido a individuos exploratorios y reevaluaciones en la población. El comportamiento típico fue de mejora rápida en las primeras 10 generaciones y refinamiento fino hasta la generación donde se reportó el mejor individuo.
Los parámetros numéricos del mejor individuo son:
SP1 Producción: 1.0593,
SP1 Degradación: 0.1014,
SP1 Interacción: -0.5374,
RUNX2 Producción: 0.5631,
RUNX2 Degradación: 0.5644,
RUNX2 Interacción: 2.1109,
ETS1 Producción: 0.5581,
ETS1 Degradación: 0.5867,
ETS1 Interacción: 0.943

*Comparación final — Simulado vs Target*
Valores finales (mejor individuo) y comparación con el vector objetivo utilizado:

*Tabla 1. Comparación valores finales*

| Proteína | Simulado | Target | Error | Error relativo (%) |
|---|---|---|---|---|
| SP1 | 0.861 | 0.900 | 0.039 | 4.33 % |
| RUNX2 | 0.987 | 1.000 | 0.013 | 1.30 % |
| ETS1 | 0.774 | 0.800 | 0.026 | 3.25 % |

La distancia euclidiana simple entre el vector simulado [0.861, 0.987, 0.774] y el vector objetivo [0.9, 1.0, 0.8] es aproximadamente 0.04864. Obsérvese que este valor no coincide numéricamente con el fitness reportado (0.06899), esto se debe a que la función de fitness usada por el AG incorpora transformaciones o penalizaciones adicionales.

*Trayectorias temporales (mejor individuo)*
Las trayectorias temporales (Figura 2) extraídas del mejor individuo muestran las siguientes características principales:

- SP1 (Proteína 1): parte en 0.40 y asciende de forma monótona hacia una meseta cercana a 0.861; la subida es gradual, con desaceleración progresiva a lo largo del horizonte (0–168 h).
- RUNX2 (Proteína 2): parte en 0.05 y crece rápidamente, alcanzando valores próximos al target (~0.987)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en fases tempranas (decenas de horas) y permaneciendo estable con pequeñas oscilaciones al final del periodo simulado.
- ETS1 (Proteína 3): parte en 0.10 y muestra un crecimiento intermedio que se aproxima a ~0.774; alcanza la meseta antes que SP1 pero más lentamente que RUNX2.

*Interpretación dinámica*
RUNX2 actúa como respuesta rápida del sistema (interacción neta positiva), lo que podría corresponder biológicamente a un regulador que se induce pronto en el proceso de maduración.
SP1 muestra respuesta lenta y escalonada (controla la escala temporal y la estabilidad final).
ETS1 alcanza un valor intermedio y actúa como modulador cuyo ajuste es crítico para acercarse al objetivo final (mayor error relativo entre los tres).

*Robustez y observaciones*
El valor final del fitness (0.06899) combinado con la pequeña distancia euclidiana (≈0.04864) sugiere un ajuste aceptable para los tres reguladores, con RUNX2 siendo el más precisamente ajustado y SP1/ETS1 mostrando pequeñas desviaciones relativas.

**Discusión**
Los resultados muestran un ajuste consistente y relativamente cercano al vector objetivo: la distancia euclidiana entre el estado simulado final [0.861, 0.987, 0.774] y el objetivo [0.9, 1.0, 0.8] es pequeña (~0.0486) y el AG reporta un fitness final razonablemente bajo (0.06899). Al tratarse de un modelo simplificado, su grado de veracidad es limitado; por ello no se obtiene una coincidencia temporal exacta con las etapas descritas en estudios experimentales sobre la trayectoria celular. Si se quiere reproducir aspectos biológicos no representados aquí para lograr una correspondencia temporal adecuada, es necesario enriquecer el modelo —por ejemplo incorporando niveles de ARNm y regulación post-transcripcional— y re-parametrizar con datos temporales experimentales.

El análisis de los parámetros del mejor individuo aporta una explicación mecanicista a las trayectorias observadas. RUNX2 presenta una interacción neta fuertemente positiva (≈2.11) junto con una tasa de degradación moderada-alta (≈0.564), lo que produce una respuesta temprana y pronunciada seguida de estabilización: la interacción alta facilita la elevación rápida, mientras que la degradación limita la acumulación indefinida, generando el pico y la meseta temprana observada. SP1, con una producción elevada (≈1.06) y degradación baja (≈0.101), se acumula de forma más lenta y sostenida hasta alcanzar una meseta cercana al target, lo que explica la subida gradual de ese factor. ETS1 muestra parámetros intermedios (producción ≈0.56, degradación ≈0.59, interacción ≈0.94), que resultan en una dinámica intermedia y en un valor final algo por debajo del objetivo; su degradación relativamente alta respecto a su producción hace que su nivel final dependa de un equilibrio fino y lo vuelva más sensible a pequeñas variaciones de parámetros o a ruido de proceso.
Al tratarse de un modelo simplificado, el ruido biológico se ha representado aquí mediante un término promedio, una aproximación que homogeneiza la variabilidad intrínseca y puede ocultar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



heterogeneidades relevantes. Para enriquecer el modelo y capturar ruido estructurado es preferible sustituir ese término promedio por descripciones más realistas —por ejemplo, incorporando compartimentalización espacial (gradientes y transporte), vías de señalización adicionales que generen dependencia espacio-temporal, o modelos estocásticos explícitos que distingan ruido de proceso y ruido de observación—; estas extensiones permiten representar mejor la complejidad y la variabilidad observada experimentalmente.

Desde el punto de vista de robustez, el hecho de que las tres trayectorias queden próximas a los targets en presencia del esquema de optimización y del ruido empleado sugiere estabilidad general del comportamiento del modelo. No obstante, pequeñas perturbaciones en los parámetros de ETS1 (especialmente degradación e interacción) pueden provocar desviaciones relativamente importantes en su nivel final.

Técnicamente, hay limitaciones claras que condicionan la interpretación biológica: la función de activación utilizada (una sigmoide simple con un coeficiente agregado por proteína) resume distintas mecánicas en un único parámetro, lo que reduce interpretabilidad y favorece problemas de identificación estructural (múltiples combinaciones paramétricas pueden generar trayectorias similares).

Estrategias concretas que se derivan de estos hallazgos son: (1) realizar análisis de sensibilidad global (p. ej. Sobol o Morris) para identificar los parámetros que más contribuyen a la varianza explicada —probablemente ETS1_degradación y RUNX2_interacción— y orientar experimentos; (2) probar variantes de la función de activación (por ejemplo funciones tipo Hill con n y Km ajustables) y distintos modelos de ruido (aditivo vs multiplicativo, ruido de proceso vs ruido de observación) para comprobar la robustez de las conclusiones; y (3) validar experimentalmente las predicciones temporales: muestreos tempranos (0–48 h) para confirmar la cinética de RUNX2 y muestreos tardíos (≥96–168 h) para validar la meseta de SP1 y la dinámica de ETS1.

**Conclusión**

El ajuste alcanzado por el esquema AG + LSODA proporciona una representación reproducible y aceptablemente cercana al perfil objetivo: RUNX2 se comporta como un regulador de respuesta rápida, SP1 como un acumulador lento y estable, y ETS1 aparece como el elemento más sensible del sistema, mostrando la mayor dependencia frente a pequeñas variaciones paramétricas. Para transformar estos hallazgos en predicciones cuantitativas y de uso experimental es necesario (y factible) incorporar un tratamiento explícito del ruido biológico, diferenciando sus componentes intrínsecos —propios de los procesos de transcripción y traducción— y extrínsecos —derivados de variaciones ambientales o entre células—, evaluando su impacto mediante propagación de incertidumbre y simulaciones estocásticas equivalentes al modelo determinista; realizar análisis de sensibilidad globales (Sobol, Morris) y locales para priorizar parámetros críticos, junto con estudios de identificabilidad estructural y práctica (matriz de información de Fisher y *profile likelihood*) que orienten el diseño experimental y permitan una estimación robusta de parámetros; y validar las trayectorias con muestreos temporales dirigidos,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



privilegiando ventanas tempranas para capturar la dinámica de RUNX2 y tardías para SP1 y ETS1, con un número suficiente de réplicas para cuantificar la variabilidad, estableciendo criterios de aceptación basados en métricas de ajuste y en la cobertura de intervalos de predicción.

Con esas etapas complementarias, el modelo se consolidará como herramienta útil para generar hipótesis y diseñar experimentos focalizados en condrogénesis.

**Agradecimientos**

Agradecemos a Camila Coronel y Bautista Buralli por sus valiosas discusiones y aportes en temas de biología, así como a Daniela Díaz y Víctor Lombardo por la tutoría y orientación brindada en el área de Algoritmos Genéticos. Este trabajo cuenta con el aval de la Cátedra de Algoritmos Genéticos de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario.

**Referencias**

[1] Clavijo DC, Mejía BV, Rojas LM, Sáenz HL. *Análisis Estocástico de Un Sistema Génico Simple para la Síntesis de una Proteína Implementando los Métodos de Gillespie*. Revista Cuarzo 2018:24 (1) 7-16.

[2] Larry J. Eshelman, J. David Schaffer, *Real-Coded Genetic Algorithms and Interval-Schemata*. Philips Laboratories, North American Philips Corporation, 2014.

[3] Ryan N Gutenkunst *et al.*, *Universally Sloppy Parameter Sensitivities in Systems Biology Models.* Laboratory of Atomic and Solid State Physics, Cornell University, 2007.

[4] Timmy Manning, Roy D Sleator, Paul Walsh, *Naturally selecting solutions*. Department of Computer Science; Cork Institute of Technology, 2012.

[5] Zhang Y *et al.*, *Co-stimulation of the bone-related Runx2 P1 promoter in mesenchymal cells by SP1 and ETS transcription factors at polymorphic purine-rich DNA sequences (Y-repeats).* Department of Cell Biology and Cancer Center, University of Massachusetts Medical School, 2008.

[6] Toshihisa Komori, *Runx2, an inducer of osteoblast and chondrocyte differentiation*. Histochem Cell Biol 149, 313–323 (2018)

[7] Petzold, L. R. (1983). *Automatic selection of methods for solving stiff and nonstiff systems of ordinary differential equations*. SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing, 4(1), 136-148.

[8] Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence.* MIT press.

[9] Elowitz, M. B., Levine, A. J., Siggia, E. D., & Swain, P. S. (2002). *Stochastic gene expression in a single cell.* Science, 297(5584), 1183-1186.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Optimización Espacial de Puntos de Extracción con Datos Escasos mediante Heurística Genética Penalizada

Autores: Laureano Iván Oliva, Estudiante en Ing. en sistemas de la información.
Daniel Gagliano, Estudiante en Ing. en sistemas de la información.

Cátedra de Algoritmos Genéticos (2025) - UTN FRRo

*Un algoritmo evolutivo con operador de cruce especializado para problemas de ubicación espacial.*

**Abstract**
*Se aborda el problema de optimizar la ubicación de puntos de extracción en mapas bidimensionales con información limitada. Para ello, se propone un algoritmo genético penalizado que incorpora tres penalizaciones adaptativas —proximidad, colinealidad y calidad— junto con un operador de cruce interno basado en interpolación ponderada por aptitud. Este mecanismo genera descendientes en regiones de alta calidad, aprovechando la continuidad del paisaje de aptitud. En escenarios sintéticos con datos escasos, el método obtiene configuraciones robustas y diversas, mejorando la cobertura espacial y la eficiencia del proceso de búsqueda.*

**Palabras Clave**
heurística genética penalizada, operador de cruce interno, interpolación ponderada por fitness, penalización adaptativa, optimización espacial, datos escasos.

## Introducción

La optimización de puntos de extracción en entornos espaciales representa un desafío recurrente en disciplinas como minería, logística, agricultura de precisión y planificación territorial.

Tradicionalmente, estos problemas se abordan mediante modelos deterministas que requieren una gran cantidad de información detallada sobre el terreno, los recursos disponibles y las restricciones operativas.

Sin embargo, en muchos contextos reales, no es posible disponer de un modelo completo del entorno ni de información exhaustiva sobre el terreno. En tales casos, los métodos clásicos resultan ineficientes o directamente inaplicables.

En este escenario, los algoritmos evolutivos —y en particular los algoritmos genéticos— ofrecen una alternativa flexible y robusta para explorar soluciones viables **a partir de información reducida [1]**, es decir, conociendo únicamente el valor de aptitud en ciertos puntos del espacio sin necesidad de acceder al mapa completo.

El presente trabajo desarrolla un marco evolutivo capaz de generar configuraciones eficientes de puntos de extracción utilizando solo información local y evaluaciones puntuales del terreno. Para ello, se incorporan estrategias de penalización adaptativa que guían la búsqueda en función de criterios espaciales como la proximidad entre puntos, la **colinealidad** y la calidad relativa del terreno [2].

El problema que se aborda radica en encontrar un equilibrio entre simplicidad informativa y calidad de solución, permitiendo que el algoritmo funcione en escenarios donde se desconoce la función global del paisaje de aptitud.

La utilidad esperada de esta solución incluye la reducción de costos operativos, la mejora en la cobertura espacial y la posibilidad de aplicar el enfoque en contextos diversos con mínima calibración.

## 1. Problema de Investigación

El trabajo aborda el problema de optimizar la ubicación de puntos de extracción en un espacio bidimensional continuo. Cada punto representa una posible posición de pozo o sitio operativo, y el objetivo es encontrar configuraciones que maximicen la calidad del terreno manteniendo una adecuada separación entre los puntos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En este estudio, los puntos de extracción se interpretan como **pozos**, una abstracción que permite representar zonas de interés espacial. Esta analogía se utiliza porque **dos pozos cercanos capturan información redundante del entorno**, lo que disminuye la diversidad informativa del conjunto. Por este motivo, el modelo penaliza configuraciones con alta densidad local, favoreciendo una distribución de puntos que maximice la información no redundante dentro del mapa.

A diferencia de los enfoques tradicionales, este método no requiere conocer el mapa completo de calidad del terreno. El algoritmo solo accede a la evaluación local de algunos puntos —es decir, al valor de fitness en posiciones muestreadas— y utiliza esa información parcial para guiar la búsqueda de soluciones. De este modo, el proceso evolutivo se desarrolla en un contexto de datos escasos, donde no existe una función global explícita ni una descripción completa del entorno.

El desafío central radica en lograr que la población explore eficientemente el espacio de búsqueda utilizando únicamente información local y adaptativa. En este escenario, las estrategias evolutivas resultan especialmente adecuadas, ya que permiten generar soluciones robustas y bien distribuidas sin depender de un conocimiento exhaustivo del paisaje de aptitud [1], [2].

## 2. Representación del Problema

### 2.1 Espacio de Búsqueda

**Dominio:** Mapa continuo bidimensional.
**Individuos:** Coordenadas (x,y) representando posiciones de pozos.
**Población:** Conjunto de n pozos con sus respectivos valores de fitness.

### 2.2 Función de Fitness

Se implementa una función de fitness multiobjetivo que considera simultáneamente dos aspectos críticos: la calidad intrínseca del terreno y las restricciones de distribución espacial.

Esta aproximación difiere de los enfoques tradicionales que optimizan únicamente el valor del terreno, sin considerar la interacción espacial entre individuos [2].

Es importante aclarar que el objetivo de tener en cuenta las restricciones de distribución espacial se hace solo con la finalidad de preservar la mayor cantidad de información en la población del modelo. Asegurando así mejores aproximaciones.

La función de fitness para cada punto p se define como:

$$f(p) = H(p) - P(p)$$

donde:

$H(p)$ representa el valor del heatmap en la posición p, correspondiente a la calidad o utilidad del terreno en dicha ubicación

$P(p)$ es una función de penalización que cuantifica el costo de la proximidad excesiva entre pozos. Esta utiliza la siguiente formula:

$$P(p) = \Sigma\, penal\_max \times max(0, 1 - d(p,q)/d\_min)$$

## 3. Operador de Cruce Interno

### 3.1 Concepto y Motivación

El operador de cruce propuesto constituye la contribución principal de este trabajo.

A diferencia de los operadores de cruce tradicionales que intercambian características entre individuos independientes, nuestro Operador de Cruce Interno genera nuevos pozos calculando puntos intermedios entre pares de individuos de la población seleccionada, aprovechando tanto su calidad individual como su distribución espacial.

La motivación fundamental radica en que, en problemas de ubicación espacial, las **regiones intermedias entre soluciones prometedoras** suelen contener soluciones de calidad comparable o superior [3]. Este principio, conocido como **continuidad del paisaje de fitness**, sugiere que la interpolación espacial entre buenos individuos es una estrategia de búsqueda más eficiente que la exploración aleatoria [3], [4].

### 3.2 Selección de Parejas: Método Ruleta con Factor Distancia

Para cada individuo $p_1$ en la población seleccionada, la elección de su pareja $p_2$ se realiza mediante un método de ruleta modificado que combina fitness y proximidad espacial:

$$peso\_final(p_2) = [fitness(p_2)]\text{^}\alpha \times [factor\_distancia(p_1, p_2)]\text{^}\beta$$

donde el factor de distancia se define como:

$$factor\_distancia(p_1, p_2) = 1/(1 + d(p_1, p_2))$$

Los parámetros α (peso_fitness) y β (peso_distancia) controlan la influencia relativa de cada componente. En nuestras configuraciones típicas, α = 1.0 y β = 2.0, priorizando moderadamente los emparejamientos locales.

**Propiedades del Factor Distancia:**

- **Decaimiento hiperbólico:** La influencia de la distancia disminuye suavemente, evitando cortes abruptos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Preservación de diversidad:** Individuos lejanos mantienen probabilidad mínima de selección.

- **Adaptabilidad**: El parámetro β permite ajustar desde emparejamiento puramente por fitness (β=0) hasta emparejamiento casi exclusivamente local (β>3).

### 3.3 Generación de Descendientes: Centro de Masa Ponderado

Una vez seleccionada la pareja, el nuevo individuo se genera calculando el centro de masa entre ambos puntos, utilizando sus valores de fitness como pesos:

$$centro\_masa = ((x_1 \times f_1 + x_2 \times f_2)/(f_1 + f_2), (y_1 \times f_1 + y_2 \times f_2)/(f_1 + f_2))$$

Esta formulación introduce un sesgo inteligente hacia el individuo de mayor calidad:

**Casos límite:**
Si $f_1 = f_2$: centro_masa = centro geométrico
Si $f_1 >> f_2$: centro_masa → $p_1$
Si $f_2 >> f_1$: centro_masa → $p_2$

**Ventajas:**

- **Explotación dirigida:** Los descendientes se concentran en regiones de alta calidad.

- **Continuidad:** Pequeñas diferencias en fitness producen pequeños desplazamientos del centro.

- **Preservación de información:** El centro "recuerda" la calidad de ambos padres.

### 3.4 Diversificación: Aplicación de Jitter

Para evitar convergencia prematura y aumentar la capacidad exploratoria, se aplica una perturbación aleatoria (jitter) a las coordenadas del centro calculado:

$$posición\_final = centro\_masa + U(-jitter, +jitter)$$

donde $U(-jitter, +jitter)$ representa una distribución uniforme.

### 3.5 Comparación con enfoques tradicionales

El operador de cruce interno propuesto se diferencia sustancialmente de los enfoques clásicos utilizados en algoritmos genéticos.

Mientras que los operadores tradicionales como el **cruce de un punto**, **cruce de n puntos** o **cruce uniforme** se basan en la recombinación de segmentos genéticos codificados linealmente, nuestro enfoque opera directamente sobre coordenadas espaciales, generando descendientes mediante **interpolación ponderada** entre individuos seleccionados.

En particular, el uso del **centro de masa ponderado por fitness** introduce una forma de interpolación que no depende de la estructura del cromosoma, sino de la calidad relativa y la posición de los individuos en el espacio de búsqueda.

Esta estrategia se inspira en principios geométricos clásicos aplicados en contextos de estimación espacial y en técnicas de interpolación lineal utilizadas en diseño asistido por algoritmos genéticos [4], [5]

Además, el operador se fundamenta en el principio de **continuidad del paisaje de fitness**, según el cual las regiones intermedias entre soluciones de alta calidad tienden a contener soluciones igualmente prometedoras.

Este concepto ha sido explorado en trabajos sobre algoritmos evolutivos guiados por estructuras topológicas complejas, donde se observa que la conectividad entre individuos influye directamente en la eficiencia de la búsqueda y la convergencia del algoritmo [6].

### 3.6 Propiedades Emergentes

La combinación del método ruleta-distancia con el centro de masa genera **propiedades emergentes** deseables:

**Convergencia Adaptativa:**

- **Exploración temprana**: Cuando la población está dispersa, el factor distancia tiene menor impacto.

- **Explotación tardía**: A medida que la población converge, los emparejamientos se vuelven más locales

- **Auto-regulación**: La velocidad de convergencia se ajusta automáticamente según la distribución espacial

**Robustez Topológica:**

- **Paisajes multimodales**: Mantiene múltiples focos de búsqueda simultáneamente.
  En las siguientes imágenes se puede observar la primera generación y la tercera generación. En la fig. 2 se puede apreciar cómo se mantienen dos focos de información.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



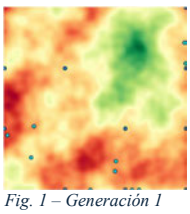


*Fig. 1 – Generación 1*

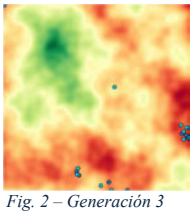


*Fig. 2 – Generación 3*

- **Paisajes unimodales**: Converge eficientemente hacia el óptimo global.

  En las siguientes imágenes se puede observar esta característica. En la fig. 3 tenemos la primera generación y en la fig. 4 la quinta generación de nuestro algoritmo. Este converge rapidamente para paisajes unimodales. Implicando tambien por la naturaleza del operador de cruce que utilizamos una convergencia local notablemente rápida.

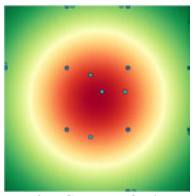


*Fig. 3 – Generación 1*

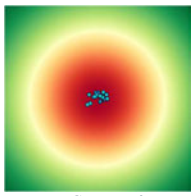


*Fig. 4 – Generación 5*

**Eficiencia Computacional:**

- **Complejidad**: $O(n^2)$ por generación, eficiente para poblaciones medianas.
- **Paralelización**: Los cálculos de centros son independientes entre sí.
- **Memoria**: Requerimientos constantes independientes del tamaño del espacio de búsqueda. (No se opera sobre una matriz, son formulas geométricas. No se necesita una matriz para obtener centro de masa, esta misma idea es la que utilizamos a pesar de graficarlo utilizando imágenes.).

### 3.7 Diferenciación con Enfoques Tradicionales

| Aspecto | Cruce Tradicional | Operador Propuesto |
|---|---|---|
| Fuente de variación | Intercambio de características | Interpolación espacial |
| Uso de fitness | Selección de padres únicamente | Selección + generación de descendientes |
| Consideración espacial | Ninguna | Fundamental en ambas fases |
| Preservación de calidad | No garantizada | Sesgo hacia mejores individuos |
| Especialización | Genérica | Optimizada para problemas espaciales |

Tabla 1 - La tabla constituye una comparación conceptual y no presenta resultados empíricos ni teóricos. Su propósito es sintetizar diferencias metodológicas.

### 3.8 Contribución Metodológica

Este operador aporta las siguientes mejoras:

- Combina fitness y distancia para seleccionar parejas más apropiadas.
- Usa el centro de masa para generar nuevos puntos sesgados hacia mejor calidad.
- Integra ambos procesos en un solo operador especializado para problemas espaciales.
- Demuestra mejor rendimiento que operadores genéricos en este tipo de problemas.

Este operador **se basa en la premisa** de que **las buenas ubicaciones tienden a estar cerca de otras buenas ubicaciones**, por lo que interpolar entre puntos de alta calidad es una estrategia efectiva de búsqueda.

## 4. Conclusión y Trabajos Futuros

### 4.1 Síntesis de aportes

Este trabajo presenta una heurística genética penalizada orientada a la optimización de la ubicación de puntos de extracción en mapas bidimensionales con información limitada. La principal contribución consiste en un operador de cruce interno que, mediante interpolación ponderada por valores de aptitud, genera descendientes en regiones prometedoras del espacio de búsqueda. La integración de este cruce espacial con penalizaciones adaptativas por proximidad y colinealidad permite obtener configuraciones robustas y mantener diversidad topológica, demostrando eficiencia tanto en paisajes unimodales como multimodales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Los resultados confirman la utilidad de los enfoques evolutivos [1], [2] y su aplicabilidad a entornos espaciales con información limitada [3], [4].

### 4.2 Limitaciones

- La función de fitness se fundamenta en un mapa de calor estático, lo que impide su uso en entornos dinámicos o con retroalimentación en tiempo real.
- El operador de cruce actual no incorpora mecanismos explícitos de preservación de diversidad genética más allá de la penalización espacial.
- La validación se ha realizado únicamente sobre escenarios sintéticos; aún no se ha probado su desempeño en casos reales de extracción.

### 4.3 Trabajos futuros

- Incorporar restricciones dinámicas que evolucionen con la población a fin de adaptarse a cambios en el entorno.
- Integrar técnicas de clustering evolutivo que identifiquen regiones de alta calidad y guíen la generación de nuevos individuos.
- Validar el enfoque en aplicaciones reales (minería, distribución de sensores, diseño de redes de extracción).
- Extender el método a un esquema multiobjetivo que equilibre cobertura espacial, eficiencia operativa y robustez frente a perturbaciones.

## Referencias

[1] Estévez, P. A. (2004). *Optimización mediante algoritmos genéticos: Un tutorial*. Universidad de Chile.

[2] Thompson, D., Hamann, J., & Sessions, J. (2001). *Selection and penalty strategies for genetic algorithms designed to solve spatial forest planning problems*. *Forest Science*, 47(4), 511–523.

[3] Macadán, R. (2007). Macadán, R. (2007). *Sistema de información geoespacial basado en algoritmos genéticos para la optimización de rutas* (Tesis de pregrado). Universidad de Los Andes, Venezuela.

[4] Díaz Viera, M. A., & Casar González, R. (2020). *Geoestadística aplicada: Métodos de estimación espacial*. Universidad Nacional Autónoma de México.

[5] Hernández Rodríguez, Y. (s.f.). *Centro de masa: Aplicaciones a la geometría*. Universidad Nacional Autónoma de México.
Las Notas de pie de página serán 9pto Times y aparecen al pie de la página correspondiente. La referencia numérica será en superscript.

[6] J.-M. Llanos-Mosquera, G.-L. Muriel-López, J. D. Triana-Madrid, y V.-A. Bucheli-Guerrero, “Algoritmos evolutivos guiados por redes complejas libres de escala,” *Revista Científica*, vol. 44, no. 2, Bogotá, pp. 1–15, May–Aug. 2022.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Asignación óptima de rutas de drones para entregas a domicilio en entornos urbanos utilizando Algoritmos Genéticos

**Escobar, Nicolás Roberto**
**Sosa Bianciotto, Facundo**
**Toloza, Laureano Yoel**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario***

**Abstract**
*En este trabajo se propone la aplicación de algoritmos genéticos para resolver problemas de Scheduling en logística urbana, optimizando la asignación y planificación de rutas de una flota de drones de reparto. Dada su alta complejidad computacional, se aplica un enfoque metaheurístico inspirado en la evolución biológica. El método desarrollado minimiza el consumo energético total, garantiza el cumplimiento de los tiempos de entrega y contempla la asignación de tareas de recarga para mantener la continuidad del servicio. Los resultados obtenidos en escenarios simulados muestran que el enfoque propuesto genera buenos resultados en relación a la eficiencia energética y la utilización de recursos.*

**Palabras Clave**
Algoritmos genéticos, Drones, UAV, sistema de entregas, problema NP-hard, DJI Matrice 300 RTK.

## 1.Introducción

El crecimiento del comercio electrónico y la densificación urbana han impulsado la adopción de soluciones logísticas innovadoras; entre ellas, la entrega mediante aeronaves no tripuladas (UAVs o drones) destaca por su potencial para reducir la dependencia de camiones, disminuir la congestión vial y reducir emisiones de carbono, además de aportar flexibilidad operativa en entornos urbanos [1]. No obstante, la operación eficaz de UAVs está limitada por restricciones críticas, como la autonomía y vida útil de las baterías, capacidad de carga y sensibilidad a condiciones ambientales que condicionan el alcance de las misiones [3], [4].

La investigación reciente aborda estos retos mediante modelos de consumo energético y planificación de trayectorias orientada a cobertura y eficiencia operativa, y propone soluciones basadas en heurísticas y metaheurísticas para obtener planes factibles en tiempo práctico bajo múltiples restricciones operativas [1], [5]. Asimismo, trabajos teóricos recientes ponen de manifiesto la elevada complejidad de variantes realistas del problema de entrega por UAVs, lo que justifica el empleo de enfoques híbridos que prioricen escalabilidad y robustez [4].

En este trabajo proponemos una modelización que integra explícitamente el consumo energético y la limitación de carga, y una metodología de generación de rutas basada en algoritmos genéticos.

El objetivo general es desarrollar y evaluar una metodología para la generación de rutas de entrega con UAVs que incorpore consumo energético y restricciones de carga, optimizando métricas operativas en entornos urbanos. Los objetivos específicos son: (i) modelar el consumo energético de los UAVs y las restricciones de carga para su integración en la planificación de misiones; (ii) diseñar y parametrizar operadores genéticos adaptados a las características de vuelos urbanos y reabastecimientos; y (iii) evaluar empíricamente la metodología en escenarios urbanos representativos. Con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ello, se busca aportar evidencia sobre la aplicabilidad práctica de la propuesta y reducir la brecha entre formulaciones teóricas y soluciones implementables en entornos reales.

**2. Complejidad computacional**

El problema de asignación de tareas y planificación de rutas para múltiples drones pertenece a la clase de problemas NP-hard, es decir, problemas para los cuales no se conoce ningún algoritmo que encuentre la solución óptima en tiempo polinomial. En la práctica, esto implica que el número de combinaciones posibles crece exponencialmente con el tamaño del problema —por ejemplo, duplicar el número de variables puede multiplicar por miles de millones el espacio de búsqueda. Incluso para problemas con pocas decenas de variables, un algoritmo exhaustivo requeriría evaluar $2^{90}$ o más configuraciones, lo que equivaldría a millones de años de cómputo en un ordenador convencional [9]

Dado este nivel de complejidad, el uso de métodos exactos resulta inviable para instancias de tamaño medio o grande. Por ello, en este trabajo se emplean algoritmos genéticos.

**3. Algoritmos Genéticos**

Los algoritmos genéticos (AG) son técnicas de optimización inspiradas en la evolución natural, que iteran sobre una población de soluciones aplicando operadores genéticos hasta alcanzar configuraciones de alta calidad. En cada iteración, la población de soluciones posibles (individuos, también llamados cromosomas) se somete a operadores genéticos. Un cromosoma es la codificación que resulta de parametrizar el problema en una serie de variables. Esta es la forma en la que representamos la solución. Las fases del algoritmo genético son las siguientes:

Inicialización: se genera una población aleatoria y su contraparte opuesta en el espacio de búsqueda, mejorando la exploración y aumentando la diversidad. Para ello, nos basamos en el principio de aprendizaje por oposición [10] que sostiene que considerar simultáneamente una estimación y su opuesta puede conducir a encontrar soluciones más adecuadas para un algoritmo optimizador.

La ecuación usada para transformar un gen zi en su opuesto z'i, para una configuración de N tareas en total, es la siguiente: [1]

$$z'i = a + bzi$$

, donde a y b corresponden al límite inferior y superior del dominio del cromosoma, respectivamente (a = 0 y b = (N- 1))

Evaluación: a cada individuo se le asigna un valor de aptitud (fitness) mediante una función objetivo, diseñada en función de los objetivos del problema. En nuestro caso, esta función considera como factor principal el consumo energético, teniendo como restricciones los tiempos de entrega y la necesidad de recargas intermedias.

Selección: se eligen los individuos que participarán en la reproducción, favoreciendo a los de mejor desempeño según su aptitud. Principalmente, se ha implementado una selección por torneo, aunque también incluimos selección por ruleta y elitismo al momento de armar las poblaciones opuestas.

Crossover o cruce: los individuos seleccionados se combinan para generar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



descendencia, intercambiando partes de su estructura. Se empleó el operador Partial Mapped Crossover (PMX), el cual selecciona dos puntos de corte aleatorios e intercambia las subcadenas correspondientes entre los padres. Mediante un mapeo entre los genes intercambiados, se garantiza que los cromosomas descendientes no contengan repeticiones ni omisiones de genes [1].

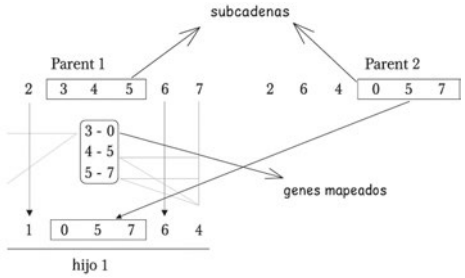



***Figura 1:*** *Funcionamiento del PMX para obtener el hijo 1*

Mutación: tras el cruce, algunos genes pueden alterarse aleatoriamente con baja probabilidad. Este operador introduce diversidad, evita la convergencia prematura y permite escapar de óptimos locales.

Elitismo: se conserva directamente el mejor individuo de cada generación para asegurar que las soluciones de alta calidad no se pierdan en el proceso evolutivo.

Estas etapas se repiten durante un número determinado de generaciones o hasta que se cumpla un criterio de convergencia, con el objetivo de aproximarse a la solución óptima del problema.

Seleccionamos este algoritmo de optimización debido a su capacidad para abordar problemas combinatorios de gran escala, especialmente para contextos como el presente, donde el número de combinaciones posibles de tareas crece exponencialmente con la cantidad de entregas y drones disponibles. De este modo, constituyen una alternativa eficaz frente a los métodos exactos, cuya aplicación resulta impracticable para instancias de tamaño grande.

## 4. Elementos de trabajo y metodología

El trabajo fue desarrollado en Python, utilizando las librerías NumPy, matplotlib y folium. NumPy permitió realizar cálculos matemáticos y manejar datos numéricos de manera eficiente. Matplotlib se utilizó para graficar la evolución del fitness y otros indicadores de desempeño del algoritmo genético. Folium se utilizó para delimitar geográficamente el área de la ciudad de Rosario, generando los puntos de interés dentro de esa región y para generar un mapa interactivo de cada ejecución. Asimismo, se utilizaron ubicaciones obtenidas a través de la API de OpenStreetMap para generar los puntos de carga en estaciones de servicio de la ciudad.

## 5. Planteo del problema: Recogida y entrega de paquetes mediante drones

El problema de programación de tareas abordado en este trabajo consiste en asignar un conjunto de tareas de entrega a una flota de UAVs. Cada entrega implica transportar una carga útil desde un punto de recogida hasta un punto de entrega dentro de una ventana temporal determinada, en un entorno urbano densamente poblado. El objetivo principal es asignar y programar todas las entregas de manera que se minimice el consumo total de energía de la flota necesario para completarlas. Además de que no se puede exceder un tiempo máximo de entrega. No se consideran los tiempos asociados a la carga y descarga de los pedidos ni los tiempos de recarga de los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



drones, concentrándose únicamente en el consumo energético derivado de los desplazamientos.

La energía total que se busca minimizar se representa mediante la función objetivo, que se define como la energía total consumida por la flota para realizar todas las tareas:

$$\min\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}E_{t_{ij}}\right)$$

Donde la energía que consume el dron i para realizar la tarea j se puede expresar como:

$$E_{t_{ij}} = \frac{1}{\eta} * (T1 + T2 + T3)$$

Cada término se calcula según los parámetros físicos y geométricos del dron y las distancias recorridas.
Se define a η como el factor de eficiencia, factor que se asocia a un número entre 0 y 1 dado que este representa cuánta energía termina siendo útil al realizarse el proceso, considerando pérdidas inherentes al sistema (baterías, motores, etc) en otras palabras, nos ayuda a saber la energía real que utiliza el dron.
Energía aerodinámica (T1): corresponde a la energía requerida para vencer la resistencia del aire durante el desplazamiento.

$$T1 = c_d \rho A_d (L_{1_{ij}} + L_{2_{ij}}) v^2$$

ρ: representa la densidad del aire
$A_d$: área frontal del dron
$c_d$ : coeficiente de arrastre
$L_{1ij}$: Distancia desde la posición inicial del drone al punto de recogida de la tarea.
$L_{2ij}$ : Distancia desde el punto de recogida de la tarea hasta el punto de entrega.
$V_{ij}^2$ : Cuadrado de la velocidad promedio de los drones.

Energía de sustentación con carga (T2): representa la energía necesaria para mantener en vuelo al dron junto con la carga útil durante el trayecto de recogida y entrega, considerando la masa del UAV, la masa del paquete, la gravedad, el factor de mérito de las hélices, la densidad del aire y el área del disco del rotor.

$$T2 = L_{2_{ij}} \frac{\sqrt{[(m_i + m_{p_j})g]^3}}{v F_M \sqrt{2\rho A_r}}$$

$L_{2ij}$ : Es la longitud del trayecto desde el punto de recogida del paquete hasta el de entrega
$m_i$ : Masa del UAV
$m_j$ : Masa de la carga útil del paquete a entregar.
$g$ : Aceleración de la gravedad
Por lo que $[(m_i + m_j)\, g]$ representa la fuerza peso que ejerce el dron.
Y dentro del denominador:
$v_{ij}$ : Es la velocidad de ejecución de la tarea. El hecho de que esté relacionado de forma inversa es porque a menor velocidad, la energía para sustentar el dron es mayor.
$F_m$ : Es el factor de la Figura de Mérito. Este es un parámetro de eficiencia de las hélices.
ρ: representa la densidad del aire, una mayor densidad del aire facilita la sustentación.
$A_r$: Área total del disco del rotor, una mayor área del disco del rotor permite que el dron genere una sustentación con una menor velocidad

Energía de sustentación sin carga (T3): corresponde a la energía necesaria para mantener al dron en vuelo únicamente con su propio peso durante el trayecto inicial hasta el punto de recogida, sin considerar la carga útil.

$$T3 = L_{1_{ij}} \frac{\sqrt{(m_i g)^3}}{v F_M \sqrt{2\rho A_r}}$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**6. Estructura del algoritmo**

En primer lugar se genera una población inicial base, donde cada individuo representa una posible asignación de tareas y rutas para la flota de drones. Para incrementar la diversidad, se genera también una población opuesta (POPP). Los individuos inviables, aquellos que no cumplen con las restricciones de tiempo de entrega o que se quedan varados por falta de batería, son eliminados, asegurando que solo se consideren soluciones factibles. A partir de los individuos viables se construye la población P', aplicando operadores de cruce y mutación, y selección por ruleta, torneo y elitismo, preservando los mejores individuos y otorgando mayor probabilidad de selección a los de mayor fitness. Cada individuo de P' es evaluado mediante una función objetivo global que cuantifica principalmente el consumo total de energía. La población resultante, P', se convierte en la base para la siguiente generación, repitiéndose el proceso hasta alcanzar un número máximo de generaciones.

**7. Implementación del algoritmo**

**7.1 Simplificaciones del modelo**

El modelo propuesto se formula bajo un conjunto de suposiciones simplificadoras, las cuales buscan reducir la complejidad del sistema sin perder representatividad en la estimación de resultados:
Se asume velocidad (10 m/s) y altitud constantes, trayectorias rectilíneas, tiempo de inactividad nulo entre tareas, intercambio instantáneo de baterías (hot-swap), ángulos de inclinación pequeños despreciados y condiciones ambientales estables. Las magnitudes se expresan en unidades del Sistema Internacional (SI).

**7.2 Modelo del dron utilizado en el experimento**

Para la simulación se utilizó el modelo DJI Matrice 300 RTK, equipado con dos baterías TB60. El dron, con baterías, posee un peso de 6,3 kg, lo que le permite operar con una carga útil máxima de 2,7 kg [6].

En cuanto a sus dimensiones, el dispositivo tiene una altura de 0,43 m y un ancho de 0,67 m; la longitud (0,81 m) no se consideró en el área frontal, dado que coincide con la dirección de avance. De esta forma, el área frontal efectiva se calculó como 0,288 m², a la cual se aplicó un coeficiente correctivo de 0,6, resultando en 0,173 m². Para efectos de simulación, se adoptó un valor de 0,2 m².

El sistema de propulsión está compuesto por hélices Propellers Series 2195, con un diámetro de 0,5334 m. Cada rotor presenta un área de 0,2235 m², dando un área total efectiva de 0,894 m² al considerar los cuatro rotores.

En relación con la energía disponible, cada batería TB60 tiene una capacidad nominal de 313 Wh, aunque la especificación real de DJI es de 274 Wh, equivalente a 986.400 J. En conjunto, las dos baterías proporcionan aproximadamente 1.972.800 J de energía utilizable.

Cabe destacar que ciertos parámetros aerodinámicos, como el coeficiente de arrastre, la Figure of Merit y la eficiencia global, fueron considerados como estimaciones y requieren calibración experimental o datos más precisos del fabricante.
En cuanto a la performance, la velocidad máxima del dron se sitúa entre 20 y 23 m/s. No obstante, para la simulación se adoptó

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



una velocidad de crucero (P mode) de 10 m/s, dado que reduce la penalización aerodinámica (proporcional al cuadrado de la velocidad), en comparación con la velocidad máxima de 23 m/s [6].

### 7.3 Escenario de prueba

Para realizar la simulación de la prueba, se tomó la ciudad de Rosario como escenario representativo. Las ubicaciones de los puntos de entrega y recogida se generaron aleatoriamente dentro del área urbana, al igual que las posiciones iniciales de los UAVs, simulando distintas configuraciones posibles de pedidos y flota. Para las estaciones de carga de los drones se tomaron como posibles ubicaciones distintas estaciones de servicio de la ciudad.

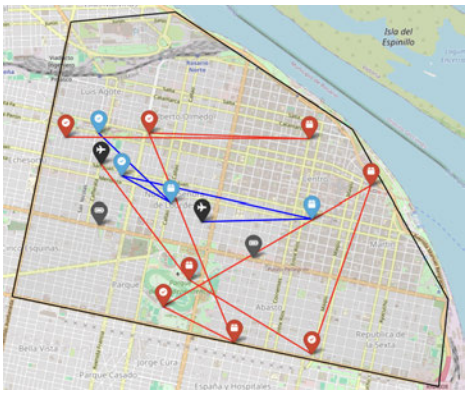


***Figura 2:*** *Ejemplo de resultado de ejecución en la ciudad de Rosario con dos drones, seis tareas y dos estaciones de carga*

### 7.4 Configuración del experimento

En la configuración del algoritmo se consideraron los siguientes parámetros: Un problema compuesto por 35 tareas a ser distribuidas entre 10 drones, con la disponibilidad de 10 estaciones de recarga. La población inicial estuvo conformada por 50 individuos, cada uno representando una posible asignación de tareas y rutas de los drones.

Con respecto a los operadores evolutivos, se fijó una probabilidad de mutación de 0,05 y una probabilidad de cruce de 0,4. El proceso evolutivo se ejecutó durante 1000 generaciones, en 4 ejecuciones (o corridas) distintas, para obtener una mejor visión del comportamiento real del algoritmo. Para garantizar una adecuada presión selectiva, se empleó un elitismo que conserva el 50 % de los mejores individuos en cada generación, mientras que la selección de padres se realizó mediante torneos de tamaño equivalente al 75 % de la población total.

Estos parámetros fueron establecidos con el objetivo de equilibrar la exploración del espacio de búsqueda (mediante la baja probabilidad de mutación y el uso de una población relativamente amplia) y la explotación de las soluciones más prometedoras (mediante elitismo elevado y torneos de gran tamaño).

### 7.5 Resultados

La figura 3 muestra cómo las energías mínimas consumidas de cada generación disminuyen de forma sostenida durante las primeras generaciones y alcanzan sus mejores valores en las últimas generaciones, donde la variación ya es menor y tienden a converger a un determinado valor.

De la figura 4 podemos observar que el fitness máximo de cada generación también presenta una tendencia favorable (en alza), demostrando que, aunque algunas corridas muestran mejores soluciones que otras, el algoritmo mejora globalmente la calidad de las soluciones.

## 8. Conclusión

La metodología propuesta demostró ser efectiva para optimizar la planificación de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



rutas de drones en entornos urbanos, logrando obtener mejoras significativas en las soluciones a través de las distintas generaciones.

Si bien se trabajó bajo supuestos simplificadores, los resultados evidencian que el enfoque es una alternativa viable para la logística de última milla, con potencial de ser extendido a escenarios más realistas en investigaciones futuras.

El algoritmo resulta especialmente eficaz en escenarios con un amplio espacio de soluciones, como ocurre en una ciudad grande como Rosario, donde la cantidad de pedidos es elevada, lo cual la convierte en una potencial candidata a implementar esta modalidad de reparto. Además, su bajo costo computacional permite realizar numerosos experimentos en poco tiempo, lo que lo vuelve ideal para sistemas de delivery con pedidos y ubicaciones de drones dinámicas.

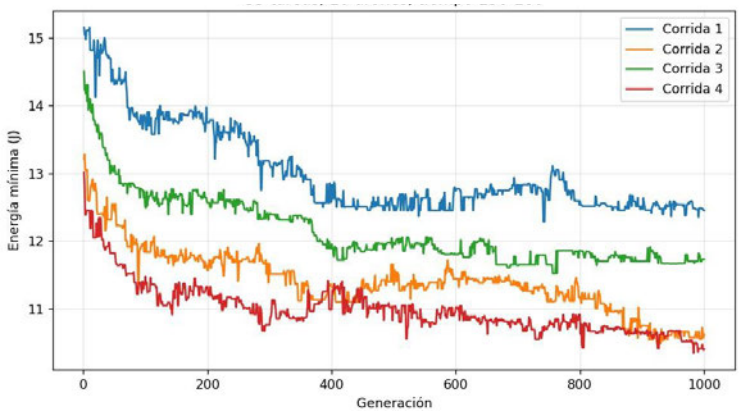



***Figura 3:*** *Resultados correspondientes a la energía mínima consumida por los drones en cada generación, en 4 corridas distintas*

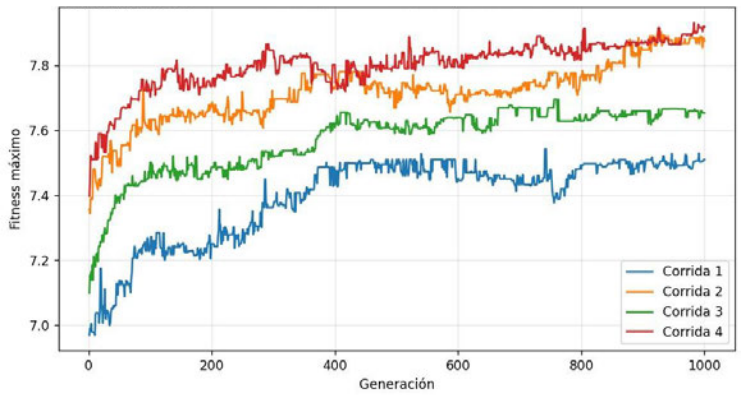



***Figura 4:*** *Resultados correspondientes al fitness máximo de cada generación, en 4 corridas distintas*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias:**

[1] M. Rinaldi, S. Primatesta, M. Bugaj, J. Rostáš, and G. Guglieri, "Urban Air Logistics with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Double-Chromosome Genetic Task Scheduling with Safe Route Planning," Smart Cities, vol. 7, no. 5, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/smartcities7050110

[2] I. Khoufi, A. Laouiti, and C. Adjih, "A survey of recent extended variants of the Traveling Salesman and Vehicle Routing problems for Unmanned Aerial Vehicles," Drones, vol. 3, no. 3, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/drones3030066

[3] T. M. Cabreira, L. B. Brisolara, and P. R. Ferreira Jr., "Survey on coverage path planning with unmanned aerial vehicles," Drones, vol. 3, no. 1, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/drones3010004

[4] S. Bartlemae, A. Hene, and K. Luo, "On the hardness of the drone delivery problem," arXiv preprint, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2502.15194

[5] Y. Hazama, H. Iima, Y. Karuno, and K. Mishima, "Genetic algorithm for scheduling of parcel delivery by drones," Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, vol. 15, no. 3, 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1299/jamdsm.2021jamdsm0069

[6] DroneOps, "DJI Matrice 300 RTK specs," DroneOps, [Online]. Available: https://droneops.co.za/dji-m300-rtk-specs . [Accessed: Sept. 12, 2025].

[7] Capgemini Research Institute, The Last Mile Delivery Challenge: A digital perspective on the future of last mile, Capgemini, 2021. [Online]. Available: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2021/02/Report-Digital-%E2%80%93-Last-Mile-Delivery-Challenge1-1-1.pdf

[8] F. Sosa, "Drone routes optimization," GitHub repository, [Online]. Available: https://github.com/facundososab/drone-routes-optimization

[9] K. A. De Jong and W. M. Spears, "Using genetic algorithms to solve NP-complete problems," in Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms, J. D. Schaffer, Ed. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1989, pp. 124–132. [Online]. Available: https://www.mli.gmu.edu/papers/86-90/89-7.pdf

[10] Q. Xu, N. Wang, F. Zou, and J. Yang, "Exploring the reasons behind the good performance of opposition-based learning," IEEE Access, vol. 7, pp. 7259–7272, Jan. 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2890402

**Datos de Contacto**:

Escobar, Nicolás Roberto
Email: escobar.nicolas.isifrro@gmail.com

Toloza, Laureano Yoel
Email: tolozalaureano213@gmail.com

Sosa Bianciotto, Facundo
Email: facundososabianciotto@gmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Ubicaciones óptimas para parques eólicos en la Argentina mediante un algoritmo genético: Balance entre recurso eólico y costo de conexión

**Andino, Tomás**
**Consiglio, Micaela**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

## Abstract

*Se presenta un método basado en un algoritmo genético para identificar ubicaciones óptimas para el despliegue de parques eólicos en la Argentina, priorizando la compensación entre recurso eólico y costos asociados a la evacuación de energía. El enfoque permite cuantificar zonas prometedoras para inversión considerando restricciones geográficas y la red de transporte.*

## Palabras clave

Parque eólico, algoritmo genético, muestreo espacial, velocidad de viento, costos de conexión.

## Introducción

La expansión de la generación eólica en la Argentina ha mostrado alto potencial, sobre todo en la Patagonia, pero enfrenta restricciones económicas importantes debido a la distancia a la red de transmisión y la logística asociada. En este trabajo nos centramos en localizar sitios que maximicen la viabilidad económica y técnica, contabilizando principalmente la disponibilidad del recurso eólico, teniendo en cuenta las velocidades típicas de arranque, nominal, corte y el costo de conectar el parque a la red de transporte, buscando la subestación más cercana y su línea de evacuación. Además nos aseguramos de que todos los puntos analizados se encuentran fuera de zonas urbanizadas, para aumentar la viabilidad de la instalación en el punto geográfico.

## Contexto de energía eólica en Argentina

El mercado eléctrico argentino fue desregulado en 1992, organizándose en los segmentos de generación, transmisión y distribución. La administración del mercado mayorista recae en CAMMESA, mientras que organismos nacionales y provinciales regulan la transmisión y distribución. Desde principios de los 2000, el crecimiento sostenido de la demanda energética incrementó fuertemente la dependencia de combustibles fósiles importados, lo que impulsó la búsqueda de fuentes renovables [1].

Argentina posee un potencial eólico estimado en 500 GW, considerado uno de los más altos del mundo, aunque en 2012 la capacidad instalada apenas alcanzaba 141,9 MW, lo que muestra un gran margen de desarrollo [1][7]. Las zonas de mayor recurso se localizan en la Patagonia (Chubut y Santa Cruz), donde las velocidades de viento oscilan entre 9 y 12 m/s y los factores de capacidad alcanzan valores del 40-44 %, superiores al promedio nacional del 30 %. También presentan condiciones favorables la región de Comahue (Neuquén y Río Negro) y la costa atlántica bonaerense, esta última con ventajas de conexión a la red eléctrica debido a su cercanía a centros poblados [3][7].

No obstante, aunque los vientos más intensos y constantes se encuentran en el sur del país, el desarrollo de parques eólicos en esas regiones enfrenta desafíos técnicos y económicos significativos. La principal dificultad radica en la gran distancia entre los sitios de mayor recurso y los centros de consumo o subestaciones de alta tensión, lo que exige costosas inversiones en infraestructura de transmisión. Este factor encarece los proyectos y retrasa la incorporación de la energía generada en zonas alejadas, limitando así la explotación plena del recurso patagónico [1][7].

Para impulsar el sector, el gobierno implementó el Plan Estratégico Nacional de Energía Eólica (PENEE), que incluyó la elaboración del atlas eólico nacional y el desarrollo de proyectos como Vientos de la Patagonia. Además, la Ley Nacional 26.190 estableció beneficios fiscales y subsidios para proyectos renovables, complementados por legislaciones provinciales (Chubut, Buenos Aires y Santa Cruz) que otorgaron incentivos adicionales.

En síntesis, Argentina combina un recurso eólico de clase mundial con políticas públicas de apoyo y una creciente participación de actores locales e internacionales. No obstante, los desafíos estructurales relacionados con la infraestructura de transmisión, el financiamiento y la estabilidad económica siguen siendo los principales obstáculos para materializar plenamente su enorme potencial[1][7].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Conexión del parque eólico

La conexión de un parque eólico a la red eléctrica nacional en Argentina se realiza mediante un proceso planificado que asegura la integración eficiente y segura de la energía generada. En primer lugar, cada aerogenerador produce electricidad en corriente alterna a media tensión, la cual se concentra en una subestación interna del parque donde se eleva la tensión para reducir las pérdidas en el transporte. Desde allí, la energía se transporta a través de líneas de transmisión hasta la subestación de conexión más cercana de la red nacional, operada por CAMMESA y supervisada por Transener u otras empresas transportistas según la región. En esta etapa se realiza una sincronización precisa entre la frecuencia y el voltaje del parque con los de la red, garantizando estabilidad y evitando perturbaciones. Además, se deben cumplir normas técnicas de despacho, control de potencia reactiva y calidad de servicio para que la energía eólica se integre de manera confiable. Todo este proceso implica estudios de impacto eléctrico, adecuación de infraestructura y la coordinación con el sistema interconectado argentino, de modo que la generación renovable se incorpore de manera segura y aporte al suministro energético del país.

### Tamaño mínimo del terreno

Si bien no existe en Argentina una restricción legal específica sobre el tamaño mínimo de un parque eólico, es decir, no hay una normativa nacional que establezca un límite mínimo de potencia o superficie para desarrollar uno.
Por ello para garantizar la viabilidad práctica del modelo, se incorporó la restricción de ubicar los aerogeneradores fuera de las zonas urbanizadas. Esta condición responde tanto a consideraciones técnicas como sociales. Se asegura de evitar conflictos con áreas residenciales y de reducir el impacto acústico y visual sobre la población. Además garantiza que la infraestructura eólica no interfiera con el uso del suelo destinado a actividades urbanas. De esta manera, el algoritmo no solo optimiza desde el punto de vista energético y eléctrico, sino que también contempla criterios de compatibilidad territorial y sostenibilidad social.
Asimismo, se reconoce que el modelo de costos empleado en esta etapa constituye una simplificación que considera principalmente la distancia como variable determinante. Sin embargo, en un escenario real intervienen factores adicionales —como la topografía del terreno, las características del suelo o la presencia de áreas que requieran expropiación— que pueden influir de manera significativa en los costos de instalación y tendido eléctrico. Por este motivo, se plantea como una línea de trabajo futura la incorporación de información geográfica complementaria que permita contemplar dichas variaciones del terreno. Esta ampliación no solo aportaría mayor realismo al modelo, sino que también contribuiría a una evaluación económica más precisa y representativa de las condiciones geográficas y logísticas del territorio argentino.

## Metodología

### Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos, propuestos originalmente por Holland (1975), constituyen una técnica de búsqueda y optimización inspirada en los procesos de selección natural y genética biológica [12][13]. Son una técnica perteneciente al campo de la inteligencia artificial y la computación evolutiva, cuyo funcionamiento se inspira en los procesos de selección natural y genética biológica. Su objetivo es encontrar soluciones de calidad a problemas complejos, en los que los métodos determinísticos o exactos resultan demasiado costosos o inviables.
El enfoque parte de representar cada solución potencial como un “individuo” dentro de una población inicial generada, en la mayoría de los casos, de manera aleatoria. A partir de esta población se desarrolla un proceso evolutivo en ciclos llamados generaciones, donde se aplican operadores fundamentales llamados selección cruzamiento y mutación
En la selección se eligen los individuos con mejor desempeño según una función de aptitud llamada fitness, que evalúa qué tan buena es cada solución frente al problema planteado. Al aplicar cruzamiento, también llamado crossover, se combinan características de dos o más individuos para generar descendencia que herede rasgos de las soluciones anteriores.
En la mutación se introducen variaciones aleatorias en algunos individuos para mantener la diversidad genética y evitar la convergencia prematura hacia soluciones subóptimas. Este ciclo iterativo produce, generación tras generación, una población cada vez más adaptada, lo que permite aproximarse a una solución óptima o cuasi-óptima.
En el contexto de proyectos, los algoritmos genéticos resultan especialmente útiles para resolver problemas de optimización, planificación, asignación de recursos, ajuste de parámetros y diseño de sistemas complejos, ya que permiten explorar espacios de búsqueda grandes, no lineales y multimodales, donde otros métodos de optimización no son tan efectivos. Además, su carácter probabilístico hace posible encontrar soluciones satisfactorias en tiempos razonables, incluso cuando la solución exacta no puede calcularse de forma directa.

### Muestreo espacial

La generación de individuos es realizada mediante la triangulación del polígono de Argentina, la cual consiste en dividirlo en triángulos y calcular el área

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de cada pedacito. Esto sirve para poder elegir puntos al azar de manera justa, logrando así una distribución uniforme de los puntos. Luego se sortea un triángulo al azar teniendo en cuenta su tamaño, los más grandes tendrán mayores posibilidades. Dentro del triángulo sorteado, se elige un punto al azar y se lo transforma a coordenadas reales, con su correspondiente latitud y longitud. Posteriormente se verifica si el punto está dentro de Argentina y no se encuentra dentro de alguna zona prohibida, como ciudades o áreas urbanas. Si cae en una zona prohibida, lo descarta y vuelve a intentar, pero si es válido lo acepta como un individuo de la población. Así repite todo el proceso hasta obtener la cantidad de individuos deseados.

## Codificación espacial

Cada individuo representa un punto geográfico compuesto por latitud y longitud. La latitud toma valores desde el -90 hasta el 90 y la longitud desde el -180 hasta el 180. Para codificar la parte entera de estos números necesitaríamos 7 bits para la latitud y 8 para la longitud. Sin embargo, los límites de estas variables para Argentina, van de -55 a -21 en latitud y -73 a -53, por ello simplificamos nuestra aplicación usando 7 bits para ambos en la parte entera, ya que la longitud nunca necesitaría usar el octavo bit. De esta forma la codificación en punto fijo queda con 7 bits para la parte entera y 21 bits para la parte fraccionaria, esta última selección permite una resolución espacial de $\approx 0.053$ m. Dado que todos los valores de las coordenadas en Argentina son negativas, no utilizamos bit de signo, y en la conversión lo tendremos en cuenta de esta forma.




Figura 1: Gráfico de codificación espacial de Argentina

## Función objetivo

La función objetivo diseñada en este trabajo para la evaluación de cada sitio candidato, combina de manera ponderada dos aspectos fundamentales, la calidad del recurso eólico disponible y el costo de conexión a la red eléctrica.

**Componente eólico.** Para representar el recurso eólico se definió una función basada en una campana gaussiana. Esta se centra en la velocidad nominal típica de operación de un aerogenerador moderno, que se tomó en 13 m/s. El ancho de la curva se controló con un desvío estándar de aproximadamente 3 m/s, lo que refleja un rango de operación eficiente en torno al valor nominal. Adicionalmente, se establecieron umbrales de corte, si la velocidad media del viento en el punto candidato resulta inferior a 6 m/s o superior a 23 m/s, la función devuelve un valor nulo. Esto es debido a que en 6 m/s se establece la velocidad promedio anual del viento a la cual arranca el funcionamiento de los aerogeneradores y en 23 m/s se encuentra la velocidad de corte, es la velocidad máxima que el aerogenerador soporta antes de detenerse para evitar daños mecánicos. De esta manera, solo se consideran viables aquellas ubicaciones donde el viento se mantiene dentro de márgenes razonables de aprovechamiento energético.

$$\exp\left(-\frac{(v-13)^2}{2\sigma^2}\right)$$

**Componente de costos.** para capturar el aspecto económico, se formuló una función de costos en función de la distancia del sitio a la subestación más cercana. Este costo incluye tanto la instalación de la subestación como el tendido de la línea de evacuación, y se modeló de forma escalonada según tramos de distancia. Así, se diferencian rangos de conexión corta, media y larga, cuyos costos se presentan en el Cuadro 1.

| Distancia a la subestación más cercana | Subestación recomendada | Costo de la subestación | Tipo de conexión recomendada | Costo de conexión por kilómetro |
|---|---|---|---|---|
| <= 10 km | 132 kV | $ 2 - 4 millones USD | 132 kV | $ 100,000 - 200,000 USD |
| 10 - 50 km | 220 kV | $ 5 - 10 millones USD | 220kV | $ 250,000 - 400,000 USD |
| > 50 km | 500 kV | $ 15 - 25 millones USD | 500 kV | $ 800,000 - 1,000,000 USD |

Cuadro 1: Tabla de costos contemplados.

Para incorporar esta información en la función objetivo primero definimos una función costo:

$$C(\text{dist}) = C_{\text{subestación}}(\text{dist}) + C_{\text{conexión}}(\text{dist}) \cdot \text{dist}$$

Luego para evitar que los valores elevados dominen el cálculo, se aplicó una transformación para normalizar los valores en el rango [0,1]. Esta transformación asegura que, a mayor costo, menor será el aporte al valor global de la función, manteniendo siempre resultados dentro de un rango acotado.

$$u_{\text{costo}}(d) = \frac{1}{1+\text{costo}(d)}.$$

**Combinación final.** Finalmente, ambas funciones se integran en una única función objetivo a través de una combinación lineal ponderada. Se asignó un peso del 60 % al componente de costos y un 40 % al componente eólico, priorizando así la viabilidad económica

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sin dejar de considerar la calidad del recurso. De esta forma, cada ubicación candidata recibe un valor único que resume su atractivo relativo, y que sirve como criterio de evaluación dentro del algoritmo genético.

$$F = w_d \cdot u_{\text{costo}}(d) + w_v \cdot u_{\text{viento}}(v),$$

## Obtención de datos

Para la caracterización del recurso eólico se emplearon datos del Global Wind Atlas v4. Los valores utilizados responden a las velocidades medias anuales del viento a 100 m de altura. Dichas velocidades son expresadas en m/s, con una resolución de aproximadamente 250 metros y corresponden al período de 2008–2017.
Para la identificación y localización de las subestaciones eléctricas en el territorio argentino se utilizó la base de datos abierta de OpenStreetMap (OSM), accedida mediante la herramienta Overpass Turbo. Se realizó una consulta en lenguaje Overpass API que restringe el área geográfica de Argentina y filtra por la etiqueta "power-"substation", recuperando tanto nodos como vías y relaciones con dicha característica.

## Selección por torneo

Para la etapa de selección, se optó por la técnica de torneo, ampliamente utilizada en algoritmos genéticos debido a su simplicidad y eficiencia computacional. En este método, se forma un subconjunto reducido de individuos elegidos aleatoriamente de la población y se selecciona como ganador el que presente mejor desempeño según la función objetivo. Este proceso se repite tantas veces como sea necesario para completar el conjunto de padres que participarán en el cruce. La ventaja principal del torneo es que introduce un balance entre presión selectiva y diversidad, los mejores individuos tienen mayor probabilidad de ser elegidos, pero los menos aptos conservan una posibilidad de contribuir a la siguiente generación, manteniendo así variabilidad genética en el sistema.
En el marco de este estudio, la selección por torneo fue preferida frente a la selección por ruleta porque ofrece un mejor control sobre la presión selectiva en un problema donde la distribución de los valores de la función objetivo puede ser muy heterogénea. Dado que los costos de conexión presentan saltos abruptos según el tramo de distancia y que el recurso eólico se distribuye de manera desigual a lo largo del territorio, es común que unos pocos individuos alcancen valores de aptitud mucho más altos que el resto.
Si hubiéramos empleado la ruleta, estos individuos hubieran concentrado rápidamente la mayor parte de las probabilidades de ser seleccionados, conduciendo a una pérdida prematura de diversidad en la población. El torneo, en cambio, asegura que incluso individuos con valores intermedios tengan oportunidades de ser seleccionados, lo que resulta esencial para seguir explorando múltiples regiones del mapa y evitar que el algoritmo quede atrapado demasiado pronto en un único conjunto de ubicaciones.

**Tamaño reducido del torneo.** n la implementación realizada, se adoptó un tamaño de torneo pequeño, de tan solo dos individuos. Esta elección responde a la necesidad de moderar la presión selectiva en un problema donde el espacio de búsqueda es muy amplio y altamente multimodal, es decir, presenta múltiples soluciones localmente óptimas.
Con torneos de mayor tamaño, los individuos con bajo rendimiento tendrían escasas probabilidades de ser seleccionados, lo que aumentaría el riesgo de que la población converja prematuramente hacia un óptimo local. En cambio, un torneo de dos individuos asegura que exista una probabilidad no despreciable de que soluciones alternativas sobrevivan, lo cual favorece la exploración del espacio de búsqueda. Este equilibrio entre explotación de las mejores soluciones e incorporación de diversidad resulta esencial en un problema de optimización territorial, donde diferentes regiones del mapa pueden presentar condiciones atractivas según la combinación de viento y costos.

## Aplicación del Elitismo

En el diseño del algoritmo genético se incorporó la estrategia de elitismo como un mecanismo de preservación de soluciones de alta calidad. Este enfoque consiste en identificar a los mejores individuos de cada generación y copiarlos directamente a la siguiente sin someterlos a operadores de cruce o mutación. De esta manera se garantiza que las soluciones de mayor valor no se pierdan debido al carácter aleatorio del proceso evolutivo.
En nuestro caso, se decidió mantener al 2 % de los individuos con mayor valor de la función objetivo. Esto asegura que el progreso logrado por la población no se degrade entre generaciones y permite que la búsqueda evolutiva tenga una memoria efectiva de las soluciones más prometedoras. El elitismo, además, contribuye a acelerar la convergencia del algoritmo, ya que facilita la acumulación progresiva de rasgos favorables en la población.

## Operación de Crossover

Dentro del algoritmo genético propuesto para la optimización de la ubicación de aerogeneradores, el crossover constituye la operación fundamental que permite combinar información genética de dos soluciones candidatas (individuos) con el objetivo de generar nuevas soluciones potencialmente superiores.
Cada individuo de la población representa una posición del parque eólico, definido por un conjunto de coordenadas contenidas en el área de estudio. Durante el proceso de cruce, se seleccionan dos individuos padres a partir de la población actual, se traduce la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



latitud y longitud a la codificación binaria explicada, luego con el método de cruce one point seleccionamos un punto de corte para la latitud y otro para la longitud e intercambiamos las informaciones genéticas entre las latitudes y longitudes de los padres, generando dos descendientes que heredan características de ambos progenitores.
El propósito de esta operación es explorar el espacio de soluciones de manera eficiente, promoviendo la combinación de configuraciones espaciales que puedan mejorar la producción energética, tener velocidades de vientos mejores y optimizar la cercanía a las subestaciones eléctricas para reducir el costo.

## Operación de Mutación

La mutación es la segunda operación fundamental en el algoritmo genético utilizado para la optimización de la ubicación de aerogeneradores. Su función principal es introducir diversidad genética en la población, evitando la convergencia prematura hacia soluciones subóptimas.
En el contexto de este proyecto, cada individuo codifica la posición geográfica de los aerogeneradores en el territorio nacional. La mutación se implementa codificando la latitud y la longitud y dándole a cada una un punto donde se intercambiará el bit. Esta alteración se realiza analizando que las coordenadas obtenidas de esta mutación sean una posición dentro de la región factible.
Establecimos la probabilidad de mutación en un 0.3 para fomentar la variabilidad en el algoritmo y explorar más posiciones. Este valor no debe ser superior para no dificultar la convergencia del algoritmo. Esta alta probabilidad se justifica porque, este proyecto, no buscamos una población uniformemente mejor sino una posición que sea muy destacada.

## Resultados

La distribución inicial de las ubicaciones se realiza de forma aleatoria y uniforme a lo largo y ancho del país. La siguiente imágen muestra una población inicial tipo. Los puntos rojos representan los individuos de la población, las áreas azules son las zonas prohibidas y cada punto tiene una línea que lo conecta con la subestación más cercana, las cuales son representadas con puntos azules.

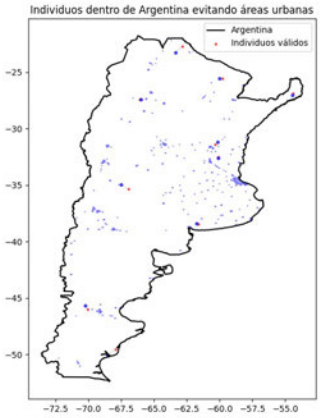



Figura 2: Mapa de argentina con población inicial tipo.

Algunos de los individuos más óptimos que resultaron de las distintas ejecuciones del algoritmo fueron:

- Lago Argentino, Santa Cruz. Coordenadas: -49.064427852630615 -71.76294088363647
- Río Senguer, Chubut. Coordenadas: -45.93945360183716 -70.78092956542969
- Languiñeo, Chubut. Coordenadas: -43.72416067123413 -70.74216842651367
- Tinogasta, Catamarca. Coordenadas: -26.92815399169922 -68.22506046295166
- Sarmiento, Chubut. Coordenadas: -44.742841720581055 -69.34603500366211
- Paso de los Indios, Chubut. Coordenadas: -44.435551166534424 -69.49413967132568
- Deseado, Santa Cruz. Coordenadas: -48.0313835144043 -69.04873037338257. Este punto nos salió dos veces en distintas ejecuciones.

El mapa resultante de la ubicación en Tigonasta, Catamarca, ubicación marcada con un círculo verde es:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



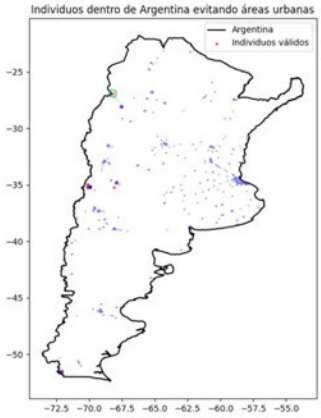



Figura 3: Mapa de argentina con población final y resultado en Catamarca.

El mapa resultante de la ubicación en Sarmiento, Chubut, ubicación marcada con un círculo verde es:

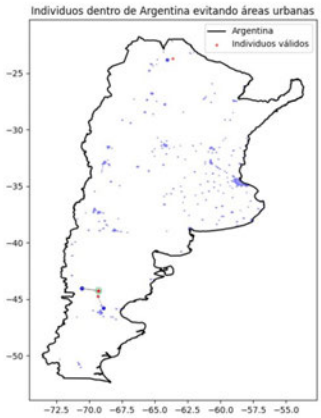



Figura 4: Mapa de argentina con población final y resultado en Chubut.

En particular, se observó una tendencia recurrente a la concentración de las soluciones de mayor desempeño en la región sur del país, coincidiendo con la proximidad a subestaciones eléctricas. Este patrón valida la hipótesis de que la cercanía a la infraestructura de transmisión constituye el factor determinante en la optimización, dado que reduce tanto las pérdidas técnicas como los costos de conexión.
Si bien la velocidad del viento se consideró como criterio secundario, los resultados muestran que, en la mayoría de los casos, la selección de puntos próximos a subestaciones también coincidió con zonas caracterizadas por un recurso eólico favorable, lo que refuerza la consistencia del modelo propuesto.
En cuanto a la convergencia de las poblaciones, presentamos un gráfico sobre la evolución del máximo, mínimo y promedio del fitness, a lo largo de las iteraciones. Notamos que independientemente de la ejecución este gráfico presentó siempre una forma similar al siguiente:

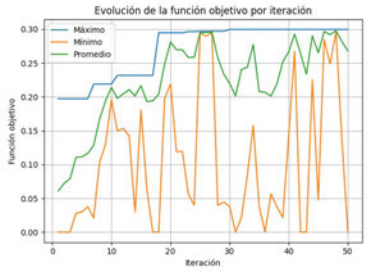



Figura 5: Gráfico de evolución del fitness tipo.

Durante las iteraciones, se observa que el valor máximo del fitness aumenta rápidamente en las primeras generaciones y luego se estabiliza alrededor de 0.3, indicando una convergencia temprana hacia soluciones óptimas. El mínimo muestra una alta variabilidad, con valores que oscilan bruscamente a lo largo del proceso, lo que sugiere una población con individuos de baja calidad en algunas iteraciones. En cambio, el promedio del fitness sigue una tendencia ascendente inicial y luego se mantiene relativamente estable, reflejando una mejora general de la población y la consolidación del algoritmo hacia soluciones de mejor desempeño.

## Discusión

Los resultados alcanzados ponen de manifiesto la importancia de la infraestructura eléctrica como factor condicionante en la localización óptima de aerogeneradores. La tendencia observada hacia la concentración de soluciones en el sur del país sugiere que la cercanía a subestaciones no solo es un criterio técnico de conexión, sino que además actúa como un atractor dominante dentro del espacio de búsqueda del algoritmo genético.
Este hallazgo es consistente con estudios previos sobre planificación de parques eólicos, en los que la viabilidad de conexión a la red se reconoce como un requisito indispensable para garantizar la rentabilidad de los proyectos energéticos. No obstante, resulta interesante que, en nuestro caso, las ubicaciones con mejor fitness coincidieran también con zonas de alta velocidad de viento, lo que permite generalizar que la proximidad a subestaciones no necesariamente contradice el aprovechamiento óptimo del recurso eólico.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En relación con las hipótesis iniciales, el modelo validó que la conexión eléctrica debía priorizarse sobre otros factores. Sin embargo, un aspecto inesperado fue la menor incidencia que tuvo la variabilidad del viento en el proceso de optimización: aun cuando se esperaba que existiera una mayor dispersión geográfica de las soluciones de mejor rendimiento, la proximidad a subestaciones resultó ser una condición de peso suficiente para limitar esa dispersión. Este comportamiento invita a profundizar en escenarios donde las restricciones eléctricas y las condiciones eólicas entren en conflicto, lo que permitiría analizar con mayor detalle los compromisos entre eficiencia energética y costos de infraestructura.
Finalmente, los resultados abren el camino hacia aplicaciones prácticas en la planificación territorial de proyectos eólicos, donde los algoritmos genéticos pueden emplearse como herramienta de apoyo a la toma de decisiones, combinando factores técnicos, económicos y ambientales. Asimismo, desde una perspectiva teórica, el presente trabajo contribuye a la literatura sobre optimización multiobjetivo aplicada a energías renovables, demostrando que los modelos evolutivos pueden capturar relaciones complejas entre variables espaciales y de infraestructura.

## Conclusión

El presente trabajo tuvo como objetivo optimizar la ubicación de aerogeneradores en el territorio nacional mediante un enfoque basado en algoritmos genéticos, priorizando la cercanía a subestaciones eléctricas y, en segundo término, la disponibilidad de recurso eólico.
Los resultados obtenidos demuestran que el modelo es capaz de identificar configuraciones espaciales con alto desempeño, destacando la concentración de soluciones en la región sur del país, donde la proximidad a subestaciones coincide además con condiciones de viento favorables. Este comportamiento valida la hipótesis inicial de que la infraestructura eléctrica constituye el factor determinante en la planificación de parques eólicos, mientras que la velocidad del viento actúa como criterio complementario que refuerza la calidad de las soluciones.
En síntesis, la investigación confirma la utilidad de los algoritmos genéticos como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la localización de proyectos energéticos, ofreciendo un enfoque flexible y replicable en diferentes escenarios. De este modo, el trabajo contribuye tanto a la eficiencia técnica y económica en la planificación de parques eólicos como al avance del conocimiento en métodos evolutivos aplicados a las energías renovables.

## Referencias

[1] Contexto de la energía eólica en Argentina
https://energypedia.info/wiki/Wind_Energy_Country_Analysis_Argentina

[2] Requisitos del terreno para instalación de parques eólicos
https://terraeolica.com/blog/tpost/j9n978r321-es-su-terreno-adecuado-para-una-planta-e

[3] Vientos del mundo
https://globalwindatlas.info/en/

[4] Polígono Argentina y zonas urbanas
https://www.naturalearthdata.com/

[5] Subestaciones eléctricas de Argentina
https://overpass-turbo.eu/

[6] Energía eólica vientos mínimos y máximos
https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/energia-eolica

[7] Agencia internacional de energía renovable y vientos
https://www.irena.org/wind

[8] Tipos y funcionamiento de aerogeneradores
https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores

[9] Cómo funcionan los aerogeneradores
https://www.iberdrola.com/innovacion/como-funciona-aerogenerador

[10] Explicación breve latitud y longitud
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/que-son-latitud-y-longitud_16573

[11] Binario punto flotante
https://blog.penjee.com/binary-numbers-floating-point-conversion/

[12] J. H. Holland, .^daptation in Natural and Artificial Systems". University of Michigan Press, 1975.

[13] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning". Addison-Wesley, 1989.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Inteligencia Artificial como recurso pedagógico para el desarrollo algorítmico y metacognitivo en la formación en ingeniería

**Córdoba Mercado, Micaela Denise[1]; Del Prado, Ana María[1]; Gómez, Sofía Gabriela[1]**

***Universidad Nacional de Catamarca, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas*** [1]

**Abstract**

*Este trabajo se enmarca en una investigación orientada al uso de inteligencia artificial (IA) en la educación técnica, con el propósito de explorar su potencial como recurso de acompañamiento en la creación, análisis y revisión de diagramas de flujo y pseudocódigo en asignaturas de informática. La propuesta busca optimizar el aprendizaje de la lógica computacional, promoviendo la autonomía, el pensamiento crítico y el desarrollo de habilidades metacognitivas.*

*Se adoptó una metodología empírica basada en la evaluación de aplicaciones digitales y su implementación en actividades pedagógicas contextualizadas. Se seleccionaron dos herramientas complementarias: PSInt, que permite el diseño visual de diagramas de flujo y genera pseudocódigo automáticamente, y ChatGPT, empleado como asistente virtual para guiar, corregir y sugerir mejoras. El proceso incluyó la elaboración de consignas específicas, un material introductorio y actividades prácticas que promueven la reflexión sobre el propio proceso de aprendizaje.*

*Los resultados iniciales muestran que la interacción con IA fomenta la revisión y comprensión de los algoritmos, reduce errores frecuentes y potencia la toma de decisiones. Se espera que esta experiencia, además de fortalecer competencias técnicas, contribuya a una formación crítica y ética en el uso de tecnologías emergentes, con potencial de ser replicada en otras asignaturas del ámbito técnico, contribuyendo a formar técnicos e ingenieros capaces de interactuar críticamente con tecnologías emergentes.*

**Palabras Clave**

**Inteligencia artificial generativa, pensamiento computacional, habilidades metacognitivas**

## Introducción

El vertiginoso desarrollo de la inteligencia artificial generativa (IAG) ha abierto nuevas oportunidades para el ámbito educativo, permitiendo explorar su potencial como recurso de apoyo para el aprendizaje, especialmente en carreras técnicas donde la lógica computacional es un pilar fundamental. La integración de IAG en educación en ingeniería ha comenzado a demostrar beneficios concretos en el aprendizaje y rendimiento de estudiantes de la carrera. En el contexto argentino, investigaciones recientes destacan el creciente interés por integrar IAG en el ámbito educativo. [1] analiza su impacto en la escritura académica y en el desarrollo de nuevas formas de alfabetización digital, mientras que [2] reporta experiencias de implementación en educación superior, subrayando la importancia de la formación docente y el acompañamiento ético. Estos antecedentes refuerzan la pertinencia de propuestas que integren IA como apoyo pedagógico en carreras técnicas. En ingeniería tecnológica, se destaca que la IAG puede enriquecer experiencias de laboratorio, simulaciones y tareas prácticas, permitiendo a los estudiantes concentrarse en la resolución de problemas complejos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mientras la herramienta apoya en tareas rutinarias como generador de ideas o correcciones. Según [3], la incorporación de ingeniería de prompts en educación superior mejora la relevancia y utilidad de las respuestas de IA, optimizando la interacción entre el estudiante y la herramienta. De manera complementaria, [4] demuestran que prompts bien estructurados favorecen una retroalimentación de mayor calidad, más específica y alineada a las necesidades del aprendizaje, lo que refuerza la utilidad de la IA como asistente pedagógico en entornos formativos. Si bien existe un creciente interés en integrar herramientas de IA en la enseñanza, la mayoría de las investigaciones y desarrollos se centran en su capacidad para generar contenido o resolver problemas de manera automática, dejando en un segundo plano su aplicación como agente de acompañamiento pedagógico. Esta tendencia plantea un desafío: ¿cómo lograr que los estudiantes utilicen la IA como un recurso formativo que promueva el pensamiento crítico y la autonomía, en lugar de limitarse a un uso pasivo y dependiente de sus resultados?

En el área de programación y desarrollo de algoritmos, la creación de diagramas de flujo y pseudocódigo constituye una herramienta esencial para comprender procesos, estructurar ideas y desarrollar habilidades de pensamiento algorítmico. Sin embargo, los estudiantes suelen enfrentar dificultades al trabajar con estas representaciones, en parte por la falta de retroalimentación inmediata y por la ausencia de estrategias para evaluar sus propios procesos de resolución. La enseñanza tradicional no siempre logra ofrecer instancias de corrección personalizadas y en tiempo real, lo que genera vacíos en la consolidación de competencias lógicas y en el desarrollo de habilidades metacognitivas.

Este trabajo busca dar respuesta a esa problemática mediante la integración de herramientas digitales con IAG que acompañen al estudiante en el análisis, creación y revisión de diagramas de flujo y pseudocódigo, favoreciendo un aprendizaje más reflexivo, interactivo y autónomo. La propuesta plantea a la IA no como reemplazo del razonamiento humano, sino como asistente pedagógico capaz de brindar sugerencias, identificar errores y orientar al estudiante en su proceso, habilitando una doble evaluación: de la tecnología como apoyo y de la propia producción.

El objetivo de esta investigación es explorar y fundamentar el potencial de las herramientas de IA para reforzar la enseñanza de la lógica computacional en el nivel universitario, optimizando tanto la comprensión conceptual como la capacidad de autorregulación del aprendizaje. Para ello, se adopta una metodología empírica basada en la selección, prueba e implementación de aplicaciones que combinen diseño visual y retroalimentación conversacional. Se seleccionaron herramientas que responden a criterios de accesibilidad, facilidad de uso y pertinencia pedagógica, priorizando aquellas que faciliten la integración entre diagramas de flujo y pseudocódigo.

La utilidad práctica de esta propuesta radica en su capacidad de generar entornos de aprendizaje más interactivos y eficientes, donde los estudiantes puedan experimentar,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



equivocarse y mejorar en un espacio seguro, recibiendo apoyo inmediato que potencie su comprensión sin reemplazar el proceso cognitivo. Esta metodología no solo se enfoca en mejorar la enseñanza de programación, sino también en preparar a futuros técnicos e ingenieros para interactuar de manera crítica y ética con tecnologías emergentes, competencia cada vez más demandada en el ámbito profesional.

El trabajo se organiza en cuatro secciones principales. En primer lugar, se presenta el marco teórico y conceptual que sustenta la investigación, abordando el rol de la IAG en educación y su relación con la enseñanza de programación. En segundo lugar, se describe la metodología adoptada para la selección de herramientas y el diseño de las actividades pedagógicas. En tercer lugar, se detalla la implementación de la propuesta en el aula, así como los resultados preliminares. Finalmente, se presentan las conclusiones y proyecciones de este trabajo, destacando su potencial replicabilidad en otras asignaturas y contextos educativos.

**Metodología y propuesta pedagógica**

El trabajo presentado se diseñó a partir de un enfoque exploratorio y empírico, con el propósito de implementar y evaluar una propuesta pedagógica que integre inteligencia artificial (IAG) como recurso de acompañamiento en el aprendizaje de lógica computacional, específicamente en la creación, análisis y corrección de diagramas de flujo y pseudocódigo. Para ello, se establecieron varias etapas metodológicas que guiaron el proceso, desde la selección de herramientas hasta su aplicación en el aula, garantizando una articulación coherente entre objetivos, recursos y resultados esperados.

La primera etapa consistió en una revisión bibliográfica y análisis del estado del arte, enfocada en el uso de IA en la educación superior, con énfasis en su aplicación en enseñanza de programación y resolución de problemas algorítmicos. Esta revisión evidenció la escasez de propuestas pedagógicas concretas para el uso de IAG en el acompañamiento de tareas que requieran pensamiento lógico y visualización de algoritmos. La literatura relevada permitió definir criterios claros para la selección de herramientas: accesibilidad gratuita, facilidad de uso, funcionalidad pedagógica, disponibilidad multiplataforma, y capacidad de ofrecer retroalimentación personalizada en tiempo real.

La segunda etapa se centró en la selección y prueba de herramientas digitales. Inicialmente, se consideraron diversas aplicaciones de diseño de diagramas de flujo y entornos de interacción con IA. Tras una fase de experimentación práctica, se eligió la combinación de PSInt y ChatGPT como eje de la propuesta. PSInt se seleccionó por su facilidad de uso y por ser una herramienta ya conocida por los estudiantes, lo que facilitó la adopción sin requerir un aprendizaje técnico adicional. Además, su capacidad de generar pseudocódigo automáticamente a medida que se construyen diagramas de flujo permitió trabajar ambos lenguajes de representación algorítmica de manera integrada. Por su parte, ChatGPT fue incorporado como un asistente conversacional que, a través de prompts bien diseñados, ofrecía sugerencias, detectaba errores y ayudaba a mejorar la estructura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



lógica de los ejercicios. El uso de ChatGPT como asistente pedagógico se sustenta en investigaciones recientes que destacan el potencial de la IAG para personalizar el aprendizaje, mejorar la accesibilidad y facilitar procesos educativos más flexibles. Estas herramientas ofrecen entornos adaptativos e interactivos, fortaleciendo el rol del docente y promoviendo una experiencia de aprendizaje más dinámica y eficaz para el estudiante [5].

En una primera planificación, se había optado por Lucidchart como herramienta de diagramación debido a sus funciones colaborativas y etiquetas explicativas en las formas geométricas utilizadas. Sin embargo, el cambio hacia PSInt respondió a la necesidad de simplificar el entorno de trabajo y aprovechar la familiaridad de los estudiantes con esta aplicación. Esta decisión también se fundamentó en la coherencia pedagógica: reducir la curva de aprendizaje técnico y permitir que el foco se mantuviera en los contenidos algorítmicos y en la interacción reflexiva con la IA.

La tercera etapa correspondió al diseño de actividades pedagógicas. Se desarrolló una serie de ejercicios progresivos que abordaban estructuras secuenciales, selectivas e iterativas. Cada actividad estaba orientada no solo a la resolución correcta del problema, sino también a fomentar una instancia de análisis posterior. Para lograrlo, se incluyó un apartado reflexivo donde el estudiante debía registrar sus decisiones, identificar posibles errores y comentar los cambios realizados tras recibir retroalimentación de la IA. Este enfoque se fundamentó en promover el desarrollo de habilidades metacognitivas, incentivando que los estudiantes no solo resolvieran problemas, sino que evaluaran críticamente su proceso de resolución.

Junto a las consignas, se elaboró un material introductorio que presentaba las herramientas a utilizar, lineamientos éticos sobre el uso de inteligencia artificial y ejemplos prácticos de ingeniería de prompts. La ingeniería de prompts representa una nueva forma de alfabetización digital, esencial para interactuar eficazmente con sistemas de IAG. [6] destaca que enseñar a los estudiantes a redactar prompts no solo potencia su metacognición, sino que también fortalece su ética digital, autonomía y pensamiento crítico. [7] afirman que los prompts son clave para activar la mente, superando bloqueos y evitando la frustración. También fomentan la colaboración en equipos, ayudando a resolver problemas complejos, y mejoran la eficiencia y productividad en la optimización de procesos técnicos. Este recurso se diseñó con el objetivo de garantizar que los estudiantes comprendieran cómo interactuar eficazmente con el asistente conversacional, evitando depender de respuestas automáticas y reforzando la idea de que la IA debía funcionar como una guía, no como un sustituto del razonamiento humano.

La cuarta etapa consistió en la implementación en el aula. Se llevó a cabo una clase introductoria en la que se explicó el objetivo de la propuesta, se presentó el material teórico y se resolvieron ejemplos guiados. Posteriormente, los estudiantes comenzaron a trabajar en las consignas utilizando PSInt para la elaboración de diagramas y pseudocódigo. Una vez

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



finalizada esta etapa, llevaban sus soluciones a ChatGPT mediante prompts elaborados previamente, donde el asistente realizaba observaciones y sugerencias estructurales. El proceso buscó que el estudiante mantuviera el control sobre las decisiones finales: podía aceptar, modificar o descartar las sugerencias recibidas, reforzando su rol activo en el aprendizaje.

Durante esta fase, se registró que las devoluciones proporcionadas por la IA fueron en su mayoría de tipo estructural, enfocadas en el orden, claridad y optimización de los algoritmos, sin alterar su lógica fundamental; se registraron interacciones que en promedio incluyeron dos iteraciones de corrección por actividad, lo que evidencia un proceso de revisión activa. Este comportamiento fue beneficioso para mantener al estudiante como protagonista del proceso, ya que las recomendaciones no reemplazaban la solución, sino que aportaban elementos para mejorarla. Además, se promovió un ambiente seguro para el ensayo y error, donde los estudiantes podían equivocarse, corregir y volver a intentar sin penalización inmediata, fortaleciendo así su confianza y autonomía.

La quinta etapa implicó un análisis de la experiencia y evaluación preliminar. Si bien la implementación contó con participación acotada, los resultados iniciales fueron positivos: los estudiantes que participaron mostraron predisposición a explorar, revisar y modificar sus producciones. Las herramientas utilizadas no presentaron barreras significativas y el asistente conversacional demostró capacidad para adaptarse al nivel del usuario, entregando respuestas comprensibles y pertinentes. Estas observaciones sugieren que la estrategia propuesta es viable y que tiene potencial de ampliarse a grupos más numerosos y a otros espacios curriculares.

Finalmente, se proyecta generar un impacto tanto en el plano técnico como en el formativo. Se espera que el uso de estas herramientas contribuya a reducir los errores lógicos frecuentes, fortalezca la comprensión de las estructuras algorítmicas, promueva la autonomía en la resolución de problemas y refuerce el pensamiento metacognitivo. Al mismo tiempo, se busca que el estudiante se familiarice con la inteligencia artificial desde una perspectiva ética y crítica, comprendiendo su potencial como herramienta de apoyo, sin caer en una dependencia ciega de sus respuestas. La ingeniería de prompts representa una nueva forma de alfabetización digital, esencial para interactuar eficazmente con sistemas de IAG.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

La propuesta presentada evidencia el potencial de la inteligencia artificial generativa como herramienta de apoyo en la enseñanza de la lógica computacional, especialmente en etapas iniciales de la formación técnica e ingeniería. A través de la integración de ChatGPT y PSInt, se logró diseñar un entorno pedagógico que fomenta la autonomía del estudiante, la reflexión crítica sobre su propio proceso de resolución y el desarrollo de habilidades metacognitivas. El uso combinado de estas herramientas permitió que los estudiantes recibieran retroalimentación estructural y sugerencias sin perder el protagonismo en la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



construcción de soluciones, contribuyendo así a un aprendizaje más significativo y personalizado.

No obstante, el trabajo presenta limitaciones que deben considerarse. La implementación se realizó en un grupo reducido, lo que impide generalizar los resultados a poblaciones más amplias sin estudios complementarios. Asimismo, la interacción con la IA depende de la habilidad del estudiante para formular preguntas efectivas, lo que plantea la necesidad de mayor capacitación en ingeniería de prompts. Otro aspecto a tener en cuenta es que, si bien PSInt y ChatGPT resultaron adecuadas para los objetivos de esta etapa, no todas las instituciones cuentan con los mismos recursos tecnológicos, lo que podría limitar la replicabilidad inmediata de la propuesta.

En comparación con trabajos previos, este estudio se diferencia al integrar herramientas digitales no solo como apoyo técnico, sino como recursos pedagógicos diseñados para promover el pensamiento crítico. A diferencia de otras investigaciones centradas en la resolución automática de problemas, se priorizó el rol activo del estudiante como evaluador de sus propios procesos, abriendo nuevas oportunidades para un uso ético y formativo de la IA en el aula

**Agradecimientos**

A mis padres, por su apoyo incondicional y por acompañarme en cada paso de este camino académico; cada logro alcanzado es también suyo. A Sofía, quien fue mi precursora en el mundo de la investigación, guiando mis primeros pasos y permaneciendo a mi lado hasta hoy como compañera y referente. Y a mi directora, por su confianza constante, su guía y dedicación en este proceso formativo.

**Referencias**

[1] A. J. Maturana, “Inteligencias Artificiales Generativas y prácticas de escritura académica,” Revista de Ambientes Digitales Educativos, Universidad Nacional de Entre Ríos, 2025. [Online]. Available: https://revistas.untref.edu.ar/index.php/raes/article/view/2159

[2] F. Tramallino, “Reflexiones en torno al uso de IA en educación superior: dos experiencias de implementación,” TEyET – Tecnología, Educación y Enseñanza, Universidad Nacional de La Plata, 2024. [Online]. Available: https://teyet-revista.info.unlp.edu.ar/TEyET/article/view/3014

[3] D. Lee and E. Palmer, “Prompt engineering in Higher Education: a systematic review to help inform curricula,” International Journal of Educational Technology in Higher Education, vol. 22, art. no. 7, 2025. [Online]. Available: https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-025-00503-7

[4] L. J. Jacobsen et al., “A Study of Prompt Engineering and the Quality of AI-Driven Feedback in Teacher Education,” MDPI, 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2673-2688/6/2/35

[5] Confedi, “El potencial de la aplicación de IA generativa en la educación universitaria: caso GPT-4o,” Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, 2024. [Online]. Available: https://confedi.org.ar/el-potencial-de-la-aplicacion-de-ia-generativa-en-la-educacion-universitaria-caso-gpt-4o/

[6] Y. Xu, Y. Chen, and J. Li, “Generative AI in computer science education: Opportunities and risks,” arXiv preprint arXiv:2505.09208, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2505.09208 DOI relacionado: https://doi.org/10.1038/s41598-025-06930-w

[7] M. V. Doria, M. M. Korzeniewski, M. C. V. Flores, and M. A. del Prado, "Herramientas y tips para generar prompts con Inteligencia Artificial," Presented at RIAA-TECNO, 2023. [Online]. Available: https://riaa-tecno.unca.edu.ar/bitstream/handle/12345

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



6789/923/Que-son-los-Prompts-y-por-que-son-importantes.pdf.

**Datos de Contacto:**
*Cordoba Mercado Micaela Denise, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, micaelacordobaunca@gmail.com*
*Del Prado Ana María; Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, anadelprado@tecno.unca.edu.ar*
*Gomez Sofía Gabriela, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, , sofiggomez@yahoo.com.ar*

*Capítulo*

# 6

# *Trabajo final de carrera*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Ojo Ciudadano: Plataforma de reporte, seguimiento y gestión de problemáticas urbanas

**Deirmendjian, Abigail Florencia**

***Universidad Atlántida Argentina, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**

*Ojo Ciudadano es una aplicación web que pone el poder en manos de los ciudadanos, facilitando la participación en la identificación y visibilización de falencias en el espacio público de una localidad. La plataforma permite reportar problemas como baches, alumbrado defectuoso u otras incidencias, así como comentar y seguir el estado de cada reporte. Cada reporte queda registrado y puede ser seguido por la comunidad, mostrando claramente los problemas que no han sido atendidos por las autoridades locales. De esta manera, Ojo Ciudadano transforma la participación ciudadana en una herramienta de presión social, incentivando a los responsables a actuar y promoviendo mayor transparencia en la gestión pública. La aplicación busca mejorar la calidad de vida, generar conciencia colectiva sobre las necesidades urbanas y facilitar la toma de decisiones basada en información confiable y visible para todos.*

**Palabras Clave**

Participación ciudadana, espacio público, gestión urbana, transparencia municipal, presión social, reporte de incidencias, Ojo Ciudadano.

## Introducción

La participación ciudadana y la transparencia en la gestión urbana se han convertido en elementos clave para mejorar la calidad de vida en las ciudades. Sin embargo, muchas falencias en el espacio público, como baches, alumbrado defectuoso, limpieza insuficiente u otros problemas, permanecen invisibles o no son atendidas a tiempo, lo que genera frustración en la comunidad y disminuye la confianza en las autoridades locales. La falta de canales eficientes para reportar y visibilizar estas incidencias dificulta que los ciudadanos ejerzan presión social de manera efectiva.

Ojo Ciudadano surge como una solución tecnológica a esta problemática, ofreciendo una aplicación web que permite reportar, seguir y visibilizar falencias en el espacio público. La plataforma centraliza la información y hace transparente qué cuestiones no han sido atendidas. De esta manera, la plataforma transforma la participación ciudadana en una herramienta concreta de presión social, incentivando a las autoridades a actuar y promoviendo mayor transparencia en la gestión pública.

Esta aplicación busca mejorar la calidad de vida urbana, incentivar la participación activa de la comunidad y facilitar la toma de decisiones basada en datos confiables y accesibles para todos.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: en primer lugar, se describe el marco conceptual, luego se detallan los objetivos, la metodología de desarrollo de la aplicación; posteriormente se explica la arquitectura, las tecnologías utilizadas y funcionalidades de Ojo Ciudadano; y finalmente se discuten los beneficios esperados, antecedentes sobre participación ciudadana y aplicaciones cívicas digitales y,

conclusiones y futuras líneas de desarrollo.

## 1. Marco conceptual

El marco conceptual de este proyecto se sustenta en varios ejes que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permiten comprender su enfoque: la participación ciudadana, la democracia digital y las tecnologías cívicas. Asimismo, se consideran aspectos relacionados con la gamificación como estrategia de motivación.

### 1.1. Participación ciudadana

La participación ciudadana se refiere a la involucración activa de los individuos en los procesos políticos y sociales que afectan a su comunidad. En el ámbito urbano, esto incluye no solo votar o asistir a reuniones vecinales, sino también identificar problemáticas y proponer soluciones [2].

### 1.2. Democracia digital

La democracia digital describe el uso de herramientas tecnológicas para mejorar la transparencia, el acceso a la información y la participación política. Según el informe de la OCDE sobre Gobernanza Digital (2019), las herramientas digitales pueden aumentar la rendición de cuentas y fortalecer el vínculo entre el gobierno y los ciudadanos, siempre que se implementen de forma inclusiva y con un diseño que favorezca la interacción abierta [15].

### 1.3. Tecnologías cívicas

Las tecnologías cívicas son plataformas que buscan resolver problemas sociales mediante la colaboración entre gobiernos, empresas y ciudadanos, permitiendo que la sociedad civil se movilice y genere cambios concretos [7].

### 1.4. Gamificación y compromiso comunitario

El marco conceptual respalda la creación de una aplicación que no solo permita reportar fallas urbanas, sino que motive la interacción comunitaria, los comentarios y la colaboración, potenciando la visibilidad de problemas y la acción colectiva.

Dado que mantener la participación activa de los ciudadanos puede ser un desafío, se considera la gamificación como una estrategia para incentivar la interacción continua. La incorporación de elementos como calificaciones, comentarios y recompensas crea un espacio más dinámico y motivador para los usuarios, fomentando un sentido de comunidad y compromiso [19].

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación web que permita a los habitantes de una localidad
reportar, visualizar y comentar falencias en el espacio público.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Permitir que los usuarios puedan registrar reportes de falencias urbanas.
- Diseñar un sistema de visualización pública de los reportes, que permita comentar y calificar.
- Implementar un sistema de notificaciones.
- Gestionar la información mediante una base de datos.
- Permitir al usuario buscar reportes a partir de distintos parámetros de búsqueda.

## 3. Metodología

El desarrollo de Ojo Ciudadano se plantea siguiendo un enfoque ágil, con organización por sprints y planificación de tareas utilizando Azure DevOps [10]. Este enfoque permite estructurar el proyecto en etapas, priorizar funcionalidades y gestionar el avance de manera ordenada, asegurando flexibilidad para incorporar mejoras según las necesidades de los usuarios.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El proceso general contempla:

- Análisis del sistema: estudio de los requerimientos funcionales y no funcionales de la aplicación. Esto incluye la elaboración de casos de uso y la Especificación de Requisitos de Software (ERS), que describen de manera estructurada cómo debe comportarse el sistema y cómo interactuarán los usuarios con la plataforma.
- Diseño del sistema: planificación de la arquitectura, modelado de la base de datos y diseño de la interfaz de usuario.
- Implementación iterativa: desarrollo progresivo de módulos y funcionalidades, con revisiones periódicas para validar su funcionamiento y usabilidad.
- Pruebas y validación: evaluación continua de la interacción del usuario y de la efectividad del sistema, para asegurar que cumpla con los objetivos planteados. Esta etapa permite validar la usabilidad de la plataforma, la claridad de la interfaz y la participación de los usuarios, así como identificar posibles mejoras para futuras versiones.

Este enfoque metodológico permite que la aplicación web evolucione de manera controlada, fomentando la participación ciudadana y garantizando que la solución sea escalable y adaptable a distintas localidades.

## 4. Arquitectura y Tecnologías

### 4.1. Arquitectura

La arquitectura de Ojo Ciudadano se basa en el modelo cliente-servidor, donde el cliente (el navegador del usuario) solicita información al servidor, que procesa la solicitud y responde con los datos correspondientes [18]. Este enfoque permite escalabilidad, buen rendimiento y separación de responsabilidades entre la interfaz de usuario y la lógica de negocio.

El sistema sigue el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC), que organiza la aplicación en tres componentes principales:

- Modelo: gestiona los datos, incluyendo reportes, usuarios y comentarios, almacenados en Azure SQL [12].
- Vista: se encarga de la presentación y la interacción con el usuario, implementada con React para interfaces dinámicas y reactivas [16].
- Controlador: maneja la lógica de negocio y coordina la comunicación entre el modelo y la vista.

### 4.2. Tecnologías

Las tecnologías que se utilizaron para el desarrollo del sistema son:

- Frontend:
  - React: facilita interfaces dinámicas y reactivas.[16]
  - HTML5: estructura y contenido de las páginas web. [5]
- Backend:
  - .NET: garantiza seguridad y robustez. [8]
- Azure DevOps: plataforma de control de versiones, seguimiento de tareas y despliegue continuo.[10]

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Azure SQL Database: servicio de base de datos en la nube de Microsoft.[12]
- Firebase Auth: servicio de autenticación de usuarios que forma parte de la plataforma Firebase de Google. [4]
- Azure Blob Storage: servicio en la nube utilizado para almacenar imágenes.[9]
- Azure Key Vault: Servicio en la nube utilizado para almacenar claves y secrets de forma segura.[11]
- Draw.io : diseño y modelado la aplicación de forma visual [3].

La combinación de estas tecnologías asegura que la aplicación sea segura, eficiente y adaptable a diferentes contextos urbanos.

## 5. Funcionalidades

Ojo Ciudadano ofrece un conjunto de funcionalidades diseñadas para fomentar la participación ciudadana y mejorar la visibilidad de los problemas urbanos, dentro de las cuales se encuentran:

- Registro de reportes: los usuarios pueden reportar incidencias en el espacio público, agregando descripción, ubicación y fotografías.
- Visualización pública de reportes: los reportes son accesibles para toda la comunidad, permitiendo comentar y calificar cada incidencia, promoviendo interacción y seguimiento colectivo.
- Mapa interactivo: la aplicación incorpora un mapa dinámico que facilita la exploración visual de los reportes. Los usuarios pueden buscar incidencias por zona o por tipo de problema y acceder rápidamente a los diez reclamos más próximos a una ubicación determinada. El sistema presenta los demás resultados de forma paginada, garantizando una navegación ordenada y accesible.
- Búsqueda avanzada: permite filtrar reportes por parámetros como ubicación o tipo de incidencia facilitando la consulta y priorización de problemas.
- Gestión de datos: toda la información se almacena de manera segura en la base de datos, con integridad y disponibilidad garantizada.
- Transparencia y presión social: la visibilidad pública de los reportes permite que la comunidad observe qué problemas no han sido atendidos por las autoridades, fomentando la rendición de cuentas y la acción colectiva.

Estas funcionalidades convierten este proyecto en una plataforma moderna que centraliza la información sobre falencias urbanas, mejora la interacción comunitaria y facilita la toma de decisiones basada en datos confiables y accesibles.

## 7. Beneficios

El proyecto Ojo Ciudadano ofrece a los ciudadanos una herramienta efectiva para participar activamente en la mejora de su comunidad. A través de la aplicación, los vecinos pueden reportar problemas del espacio público, como baches, luminarias apagadas, basura acumulada o áreas descuidadas, de manera rápida y sencilla. Esta visibilidad permite que los problemas dejen de ser ignorados y se conviertan en datos concretos que todos pueden ver.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Al centralizar y mostrar los reportes, Ojo Ciudadano genera conciencia colectiva sobre la situación de cada municipio. Los vecinos pueden observar las falencias existentes y compartirlas, creando una presión social que motiva a que se tomen medidas. De esta manera, la aplicación no solo denuncia problemas, sino que también fomenta la colaboración entre ciudadanos, quienes se sienten más involucrados y responsables del cuidado del espacio público.

Además, al evidenciar lo que sucede cuando un municipio no actúa, los ciudadanos tienen una herramienta para exigir soluciones de manera informada y organizada. Esto fortalece la transparencia, incentiva la participación comunitaria y contribuye a que los espacios urbanos sean más seguros, limpios y funcionales. En última instancia, Ojo Ciudadano empodera a la comunidad, promoviendo que la voz de los vecinos tenga un impacto real en la calidad de vida de todos.

## Trabajos Relacionados

Existen diversas iniciativas a nivel mundial orientadas a fortalecer la participación ciudadana en la identificación y seguimiento de problemas urbanos. Por ejemplo, plataformas como FixMyStreet en Reino Unido o SeeClickFix en Estados Unidos permiten a los ciudadanos reportar baches, fallas en el alumbrado público u otras incidencias. Los reportes son geolocalizados y quedan disponibles para el seguimiento tanto de la comunidad como de las autoridades, fomentando transparencia y acción local [14][1].

En América Latina, se destacan iniciativas como Cuidemos el Voto en Argentina o Alerta Ciudadana en México, enfocadas en denuncias electorales o de seguridad [6][17], así como portales municipales como el 147 del Municipio de General Pueyrredón, Buenos Aires, que centraliza reclamos ciudadanos vinculados con el espacio público y los canaliza hacia las áreas responsables [13]. Sin embargo, muchas de estas soluciones dependen directamente de la gestión municipal, carecen de dinamismo, no permiten visualizar otros reportes, ni ofrecen interacción comunitaria o seguimiento comunitario transparente, lo que limita la presión social sobre los responsables y transparencia del proceso, reduciendo la posibilidad de generar una dimensión colectiva en torno a los problemas urbanos.

Si bien existen soluciones similares, suelen estar enfocadas en grandes centros urbanos o dependen de organismos estatales. A diferencia de estas propuestas, Ojo ciudadano busca ser una alternativa adaptable, ligera y escalable, pensada para localidades de diferentes tamaños y con énfasis en la participación ciudadana y la transparencia. Se busca combinar la lógica de los sistemas de reporte tradicionales con un enfoque de participación comunitaria abierta, donde los reportes no solo se canalizan hacia las autoridades, sino que también son monitoreados y comentados por los propios habitantes. De esta manera, se propone una solución más flexible y autónoma, que aprovecha la interacción social como mecanismo de visibilización y presión ciudadana.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Ojo Ciudadano fue concebido como una respuesta innovadora a la necesidad de empoderar a los ciudadanos y fomentar la participación activa en la mejora del espacio público. La aplicación permite a los vecinos reportar incidencias urbanas de manera rápida y sencilla, generando visibilidad de los problemas y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



creando presión social que motiva a exigir soluciones. De este modo, Ojo Ciudadano no solo actúa como un canal de denuncia, sino que también fortalece la colaboración entre ciudadanos y la conciencia colectiva sobre la responsabilidad compartida en el cuidado de la ciudad.

En cuanto a las futuras líneas de desarrollo, se plantean varias oportunidades para ampliar el alcance y la efectividad de Ojo Ciudadano:

1. Integración con sistemas municipales: permitir que los reportes puedan ser utilizados también para la planificación y priorización de soluciones por parte de las autoridades. Esta integración también sentará las bases para implementar un futuro ranking de desempeño municipal, que mida la eficiencia y el compromiso de cada municipio en la resolución de los reportes. Este ranking podría mostrar indicadores como la cantidad de reportes solucionados, el tiempo promedio de respuesta y el nivel de interacción con los ciudadanos, incentivando la transparencia y la mejora continua en la gestión pública.
2. Nuevas funcionalidades para los ciudadanos: agregar notificaciones sobre el estado de los reportes, foros de discusión y mecanismos de votación para priorizar problemas, fomentando mayor participación.
3. Análisis de datos y estadísticas: generar reportes sobre zonas críticas y tendencias recurrentes, fortaleciendo la conciencia comunitaria y la presión social.
4. Educación y sensibilización: incluir contenidos que promuevan el cuidado del espacio público y hábitos responsables de la comunidad.
5. Migración a aplicación móvil: desarrollar una versión para dispositivos móviles, facilitando el acceso y la participación desde cualquier lugar y aumentando la cobertura de usuarios.
6. Moderación automatizada mediante Inteligencia Artificial: Incorporar sistemas de inteligencia artificial que actúen como moderadores iniciales de los reportes. Esta IA podría revisar el contenido de los reclamos, verificar el lenguaje utilizado y analizar las imágenes adjuntas para asegurar que cumplan con las normas de la plataforma. En casos ambiguos o complejos, la revisión podría derivarse al moderador humano, optimizando el flujo de validación y reduciendo tiempos de espera. Esta funcionalidad contribuiría a mejorar la eficiencia, mantener la calidad de los reportes y garantizar la seguridad y respeto dentro de la comunidad.

Este proyecto demuestra un gran potencial para evolucionar y convertirse en una herramienta integral de participación ciudadana, capaz de generar impacto real en la calidad de vida urbana y en la conciencia comunitaria.

**Referencias**

[1] CivicPlus. SeeClickFix 311 CRM. https://crm.seeclickfix.com/

[2] Cunill Grau, N. (1991). La participación ciudadana: Dilemas y perspectivas para la democracia del siglo XXI. CLAD.

[3] Draw.io. https://app.diagrams.net/

[4] Firebase. Documentation: Authentication. https://firebase.google.com/docs/auth

[5] HTML5 Org. HTML. https://html5.org/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[6] Justicia Nacional Electoral. (s. f.). Portal de denuncias. https://www.padron.gov.ar/cne_denuncias/

[7] Magallón Rosa, R. (2014). Tecnologías cívicas y participación ciudadana.

[8] Microsoft. Documentación de .NET. https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet

[9] Microsoft. Azure Blob Storage. https://azure.microsoft.com/es-es/products/storage/blobs

[10] Microsoft. Azure DevOps. https://azure.microsoft.com/es-es/products/devops

[11] Microsoft. Azure Key Vault. https://azure.microsoft.com/en-us/products/key-vault

[12] Microsoft. Azure SQL Database. https://azure.microsoft.com/es-es/products/azure-sql/database

[13] Municipalidad de General Pueyrredón. (s.f.). 147 Sistema de reclamos. https://147.mardelplata.gob.ar/

[14] mySociety. (s.f.). FixMyStreet. https://www.fixmystreet.com/

[15] OCDE. (2019). Digital Government Review of Argentina: Accelerating the Digitalisation of the Public Sector. OECD Publishing.

[16] React. React. https://react.dev/

[17] Secretaría de la Función Pública. (2 de septiembre de 2021). Plataforma Ciudadanos Alertadores. Gobierno de México. https://www.gob.mx/aicm/acciones-y-programas/plataforma-ciudadanos-alertadores

[18] Tanenbaum, A. S., & Van Steen, M. (2007). Distributed Systems: Principles and Paradigms (2nd ed.). Prentice Hall.

[19] Werbach, K., & Hunter, D. (2012). For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business. Wharton Digital Press.

**Datos de Contacto:**
*Abigail Florencia Deirmendjian*
*Universidad Atlántida Argentina*
*7600- Mar del Plata*
abideir07@gmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Plataformas y Agricultura de Precisión. Estudio de Caso: Plataforma Operation Center en una empresa de Maquinarias Agrícolas de la provincia del Chaco.

**Pereyra, Agustina; Polischuk, Lautaro**
**Universidad Nacional del Chaco Austral, Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas**

**Abstract**
*La creciente demanda alimentaria, derivada del aumento demográfico global, exige sistemas productivos agrícolas más eficientes, sostenibles y tecnológicamente avanzados. En este contexto, se presenta un artículo que surge del análisis del uso de plataformas digitales aplicadas a la agricultura de precisión. Se trata de un estudio de caso con "Operation Center" de John Deere en una empresa de maquinaria agrícola ubicada en la provincia del Chaco. El trabajo de investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto durante los meses de enero a octubre de 2024: con una revisión bibliográfica, una investigación exploratoria, encuestas a usuarios y una experiencia experimental a campo. Se caracterizaron las principales funcionalidades del sistema, tales como monitoreo en tiempo real, configuración de campos, planificación y envío de tareas, análisis de rendimiento, integración con otras herramientas y gestión colaborativa entre actores. Además, se efectuó un análisis comparativo con otras plataformas de gestión agrícola y se evaluó la aceptabilidad de la herramienta por parte de los usuarios actuales. Los resultados indican que el uso del Operation Center mejora la eficiencia operativa, optimiza el uso de recursos como fertilizantes y fitosanitarios, y aporta significativamente a la sostenibilidad de las prácticas agrícolas. La investigación concluye que la adopción de esta tecnología permite una toma de decisiones más precisa, reduce el impacto ambiental y fortalece la digitalización del agro en regiones productivas como el NEA argentino.*

**Palabras Clave**
Agricultura de precisión, Plataformas digitales, Operation Center, Gestión agrícola, Sostenibilidad, Optimización de recursos, Tecnología agropecuaria.

## Introducción

La expansión demográfica global proyectada por la ONU —con una población estimada de 9,7 mil millones hacia 2050— plantea un desafío estructural para la producción alimentaria: incrementar la eficiencia sin ampliar la frontera agrícola ni comprometer la sostenibilidad ambiental. En este contexto, la digitalización del agro se configura como una necesidad estratégica. La Agricultura de Precisión (AP) ofrece una respuesta tecnológica a estas exigencias mediante la incorporación de sensores, sistemas satelitales, Big Data, IoT y plataformas de gestión que permiten optimizar el uso de insumos, maquinaria y tiempo operativo en el campo.

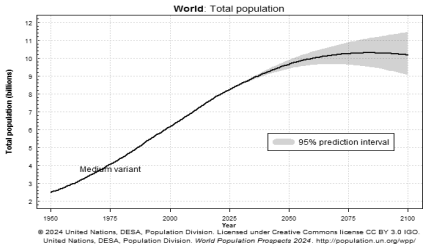



*Figura 1. Crecimiento poblacional.*

Si bien las TIC han revolucionado sectores industriales y urbanos, el agro continúa presentando brechas significativas de adopción tecnológica, particularmente en regiones periféricas. Esta brecha tecnológica condiciona la competitividad del sector y limita el impacto potencial de herramientas emergentes como las plataformas de gestión agrícola. En este escenario, se vuelve imprescindible generar conocimiento aplicado que conecte desarrollos en sistemas con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



prácticas agronómicas reales.

La presente investigación se enmarca en ese cruce disciplinar entre la ingeniería agronómica y los sistemas de información, tomando como caso de estudio la plataforma Operation Center de John Deere, implementada en una empresa de maquinaria agrícola de la provincia del Chaco. El objetivo es analizar en profundidad sus funcionalidades, evaluar su aceptabilidad entre usuarios reales y establecer su impacto en la gestión eficiente de recursos productivos, como fertilizantes y fitosanitarios.

Esta introducción propone abordar el problema de la baja adopción efectiva de plataformas digitales en el agro, explorar sus causas y potencialidades, y articular soluciones viables desde la convergencia entre ingeniería en sistemas y producción agropecuaria. La estructura del trabajo contempla una revisión de antecedentes, un análisis funcional comparado, una evaluación empírica de aceptabilidad y propuestas orientadas a mejorar la integración entre tecnología y producción agraria.

**Trabajos relacionados**

En esta sección se presentan y analizan trabajos previos que abordan el desarrollo e implementación de tecnologías digitales en sistemas productivos agrícolas, particularmente en el ámbito de la agricultura de precisión. A través de estas investigaciones, se identifican enfoques similares, arquitecturas funcionales relacionadas, desafíos comunes en la adopción tecnológica y soluciones que integran conocimientos de la ingeniería en sistemas con las necesidades del sector agropecuario. El propósito es establecer un marco comparativo que permita posicionar el presente trabajo, no solo como un estudio aplicado localmente, sino como una contribución al diálogo internacional sobre la transformación digital del agro.

Distintos autores desarrollaron una arquitectura IoT distribuida orientada a monitoreo agrícola, combinando procesamiento en la nube y en el borde (“fog computing”) [1]. Esta solución permitió reducir la latencia en la transmisión de datos y optimizar el uso de ancho de banda, resolviendo problemas clave de conectividad y eficiencia energética. La investigación es especialmente relevante para el Operation Center, ya que gran parte de sus funcionalidades dependen de la sincronización y procesamiento asincrónico de grandes volúmenes de datos generados por maquinaria agrícola en zonas rurales, donde la conectividad puede ser intermitente.

Se propuso un sistema colaborativo entre drones (UAV) y vehículos terrestres autónomos (UGV) para tareas agrícolas específicas como clasificación de malezas y aplicación selectiva [2]. El sistema emplea visión artificial y algoritmos de navegación autónoma en tiempo real. Si bien su foco está en robótica, el valor de este trabajo para este estudio radica en su capacidad de integración entre distintos dispositivos inteligentes, algo que plataformas como el Operation Center comienzan a explorar mediante interoperabilidad con herramientas externas (monitores, apps móviles, estaciones meteorológicas).

Se diseñó un controlador predictivo no lineal aplicado a tractores autónomos, logrando una desviación inferior a los 7 cm respecto a la trayectoria deseada [3]. Este trabajo es clave para comprender el sustento técnico de sistemas de autoguiado y mapeo de precisión, que son parte integral de las funciones operativas del Operation Center. Además, plantea un enfoque basado en modelos predictivos que pueden escalar hacia sistemas de decisión agronómica inteligente.

Un sistema embebido con integración de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



algoritmos de Machine Learning fue implementado en 2021 para la detección automatizada de plagas [4]. La arquitectura edge AI permitió ejecutar redes neuronales directamente en dispositivos de campo, disminuyendo la necesidad de conexión constante. Este enfoque tiene correlación directa con las metas de plataformas como el Operation Center, que buscan ofrecer herramientas de diagnóstico y análisis agronómico sin depender exclusivamente de entornos con conectividad constante.

En 2021 se presentó la tecnología See & Spray, basada en visión por computadora y control en tiempo real para la aplicación selectiva de herbicidas [5]. Esta innovación, hoy integrada al ecosistema digital de John Deere, demuestra cómo el procesamiento inteligente de imágenes puede traducirse en ahorros de insumos y reducción de impacto ambiental. Aporta un ejemplo concreto de cómo la ingeniería de sistemas aplicada al agro puede impactar directamente en decisiones agronómicas sostenibles, como se discute en este trabajo.

Durante 2024 se realizó un análisis del Operation Center, abordado desde un enfoque técnico y de usabilidad [6]. El artículo destaca la capacidad de la plataforma para centralizar datos agronómicos, operativos y meteorológicos en un entorno colaborativo. También identifica desafíos en la experiencia de usuario y en la necesidad de formación continua, dos factores que fueron abordados empíricamente en el presente trabajo de campo en Chaco.

En 2023 se evaluó la estrategia global de John Deere, enfocada en la interconexión de más de 1,5 millones de equipos agrícolas mediante tecnologías IoT y soluciones en la nube [7]. El estudio pone en evidencia la magnitud de la transformación digital en curso y la necesidad de construir plataformas escalables, interoperables y seguras. Este marco teórico respalda la pertinencia del estudio local sobre Operation Center, al mostrar que su adopción no es una tendencia aislada sino parte de una política corporativa global.

**Desarrollo**

1.1 Contexto de transformación digital en el agro

La agricultura moderna transita una etapa de transformación estructural, impulsada por la necesidad de producir más con menos, frente a un escenario de recursos naturales limitados y exigencias crecientes en materia ambiental. En este marco, la convergencia entre la ingeniería agronómica y los desarrollos propios de la ingeniería en sistemas permite concebir un nuevo modelo de gestión agrícola digital, donde los datos se transforman en insumos estratégicos para la toma de decisiones.

Este proceso da lugar a lo que se conoce como Agricultura 4.0, un enfoque basado en tecnologías de información (TIC), sensores remotos, Internet de las Cosas (IoT), sistemas de geolocalización, almacenamiento en la nube y plataformas integradas de gestión. Estos elementos, tradicionalmente ajenos al campo, hoy se integran en el ecosistema agroproductivo, creando una arquitectura cibernética del agro, que requiere tanto del conocimiento agronómico como de la ingeniería en software y hardware.

1.2. La plataforma Operation Center como caso de estudio

El Operation Center de John Deere es una plataforma de gestión agrícola digital que permite integrar datos provenientes de maquinaria conectada, sensores de campo y registros de operación agronómica, centralizándolos en un sistema que los analiza y visualiza en tiempo real. En esta investigación se analiza su implementación en una empresa de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



maquinaria agrícola de la provincia del Chaco, y su impacto en la eficiencia, sostenibilidad y adopción de prácticas de agricultura de precisión.

Entre sus funcionalidades principales se destacan:

- Planificación operativa: permite generar y enviar tareas directamente a las máquinas, con prescripciones agronómicas variables, minimizando errores de carga y sincronización actividades entre operadores.



*Figura 2: ilustración de la planificación operativa*

- Monitoreo en tiempo real: ofrece visibilidad sobre el rendimiento de equipos, ubicación, avance de labores, consumo de insumos y comportamiento de operadores.

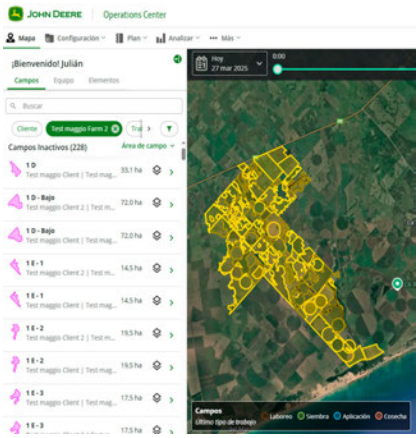



*Figura 3: Monitoreo de distintos lotes de un campo agrícola*

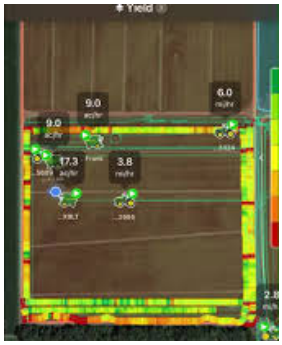


*Figura 4: Monitoreo de tareas realizadas por el campo de maquinarias del productor.*

- Análisis post-campaña: genera mapas de rendimiento, informes de eficiencia y trazabilidad de labores, permitiendo comparaciones por lote, cultivo o campaña.

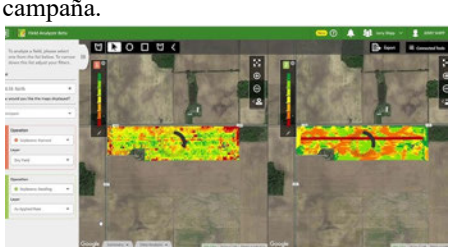


*Figura 5: Análisis de mapas de rendimiento*

- Gestión colaborativa: posibilita compartir datos con asesores técnicos, concesionarios o contratistas, bajo modelos de permiso configurables, favoreciendo el trabajo multidisciplinar.



*Figura 6: Ilustración de la gestión colaborativa*

Desde una mirada tecnológica, esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



herramienta se presenta como una solución cloud que permite la interoperabilidad de datos, la integración mediante múltiples APIs y un diseño orientado a la experiencia del usuario. No obstante, enfrenta desafíos vinculados a la conectividad en zonas rurales, la sincronización asincrónica de información y la necesidad de estandarizar los formatos utilizados en el ámbito agronómico.

### 2.3. Metodología de análisis aplicada

El estudio se abordó con una estrategia metodológica mixta. Por un lado, se realizó un relevamiento documental y análisis funcional comparado entre plataformas de gestión (Operation Center, Auravant, Trimble Ag Software y Climate FieldView), evaluando su arquitectura técnica, accesibilidad, curva de aprendizaje, y funcionalidades disponibles.

Por otro lado, se desarrolló una evaluación empírica cualitativa, basada en encuestas y entrevistas semiestructuradas a usuarios locales del Operation Center, relevando experiencias, limitantes, niveles de adopción y grado de satisfacción. Además, se acompañaron actividades de campo para observar la interacción entre usuario, máquina y plataforma en tiempo real.

Este enfoque permitió integrar datos técnicos y percepciones subjetivas, generando una visión integral de la herramienta, tanto desde la lógica del desarrollo de software como desde su implementación práctica en el campo.

### 2.4. Resultados de implementación

Los resultados obtenidos indican que el uso del Operation Center aporta mejoras sustanciales en la eficiencia del uso de insumos agrícolas, particularmente en fertilizantes y productos fitosanitarios. También se registró una reducción en los tiempos de carga operativa, menor dependencia de papel y mayor trazabilidad de decisiones agronómicas.

Además, se destaca un cambio positivo en el modelo de trabajo: los usuarios comenzaron a coordinar actividades con técnicos y concesionarios en forma remota, generando una red colaborativa basada en datos compartidos.

Desde lo técnico, se identificaron barreras como:

- Falta de conectividad estable en zonas rurales.
- Necesidad de capacitación en el uso de plataformas digitales.
- Limitaciones en la compatibilidad con equipos más antiguos o no conectados.

Sin embargo, la percepción general de los usuarios fue altamente positiva, resaltando la facilidad de uso, el valor de la información procesada y la posibilidad de evaluar el rendimiento de los lotes en tiempo real mediante la gestión de maquinaria y recursos.




*Figura 7: Nivel de satisfacción de la plataforma*




*Figura 8: Facilidad de uso de la plataforma*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 9: Funcionalidades más valoradas de la plataforma*

### 2.5. Sinergia entre agronomía y sistemas: un enfoque multidisciplinar

Este estudio refuerza la idea de que las plataformas como Operation Center no deben ser pensadas sólo como herramientas tecnológicas, sino como sistemas socio-técnicos que requieren del diálogo entre disciplinas. Por un lado, el ingeniero en sistemas diseña infraestructuras de datos, algoritmos, protocolos de comunicación y arquitecturas funcionales. Por otro lado, el ingeniero agrónomo aporta conocimiento del sistema productivo, necesidades reales del productor, criterios de manejo, y objetivos ambientales y económicos.

La interfaz entre ambas disciplinas genera una sinergia estratégica: cuando la tecnología entiende el lenguaje del agro, y el agro se apropia del lenguaje tecnológico, surgen verdaderas innovaciones que transforman la manera de producir, planificar y cuidar los recursos naturales.

## Conclusión y trabajos futuros

La presente investigación permitió analizar en profundidad el impacto de la plataforma Operation Center de John Deere como herramienta estratégica para la gestión digital de procesos agrícolas, particularmente en el contexto productivo del NEA argentino. A través de un enfoque metodológico mixto, que combinó revisión técnica, análisis funcional comparativo y evaluación empírica a campo, se evidenció que la digitalización de la agricultura mediante plataformas integradas puede generar mejoras significativas en la eficiencia, sostenibilidad y trazabilidad de los sistemas productivos.

Desde el punto de vista de la ingeniería en sistemas, el Operation Center se destaca por su arquitectura cloud, su capacidad de interoperar con maquinaria agrícola conectada, y su enfoque en la automatización de flujos operativos. Estas características permiten capturar, visualizar y analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, brindando soporte a la toma de decisiones basada en evidencia. Por su parte, desde la ingeniería agronómica, la herramienta habilita el manejo por ambientes, la optimización del uso de insumos (como fertilizantes y productos fitosanitarios), y la gestión colaborativa de las labores, integrando a asesores, productores y concesionarios en un mismo entorno digital.

Entre las principales contribuciones de este trabajo se destaca la identificación de ventajas funcionales de la plataforma, así como también de barreras para su adopción efectiva: conectividad limitada en zonas rurales, necesidad de capacitación técnica continua y resistencia cultural al cambio tecnológico. Estas limitantes no deben ser vistas como obstáculos insalvables, sino como oportunidades de mejora que requieren políticas públicas, inversión en infraestructura digital y formación profesional orientada a un agro inteligente.

En cuanto a las líneas futuras de trabajo, se propone avanzar en:

- El desarrollo de indicadores cuantitativos que midan el impacto económico, ambiental y organizacional de la adopción de plataformas digitales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- La exploración de modelos de interoperabilidad abiertos, que permitan la integración entre plataformas, sensores y equipos de diferentes marcas, superando el enfoque de ecosistemas cerrados.

- El análisis del rol del asesor agronómico digital, entendiendo su nuevo posicionamiento como gestor de información y no sólo como técnico de campo.

- El diseño de estrategias pedagógicas para la formación de usuarios rurales en competencias digitales, enfocadas en el uso crítico, responsable y estratégico de herramientas como el Operation Center.

En síntesis, el trabajo confirma que las plataformas digitales no son únicamente herramientas tecnológicas, sino vectores de transformación estructural para la producción agropecuaria. Integrar sistemas y agronomía ya no es una opción: es una condición necesaria para diseñar una agricultura más inteligente, resiliente y alineada con los desafíos del siglo XXI.

**Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Chaco Austral, por brindarnos el apoyo académico y los recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo de investigación.

También agradecemos profundamente a la Dra. Ing. Patricia Zachman, por su guía constante, su dedicación y el acompañamiento que nos brindó durante todo el proceso. Su asesoramiento fue clave para la realización de este trabajo.

**Referencias**

[1] G. Stamatescu, C. Drăgana, I. Stamatescu, L. Ichim y D. Popescu, "Data-distributed processing with IoT for precision agriculture," en *27th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, Akko, Israel, 2019, pp. 286–291. DOI: 10.1109/MED.2019.8798504.

[2] A. Pretto et al., "Building an Aerial–Ground Robotics System for Precision Farming: An Adaptable Solution," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 28, no. 3, pp. 29–49, Sep. 2021. DOI: 10.1109/MRA.2020.3012492.

[3] E. Kayacan, E. Kayacan, H. Ramon y W. Saeys, "Distributed nonlinear model predictive control of an autonomous tractor–trailer system," *Mechatronics*, vol. 24, no. 8, pp. 926–933, 2014. DOI: 10.1016/j.mechatronics.2014.05.002. [En línea: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957415814000634] ScienceDirect

[4] A. Albanese, M. Nardello y D. Brunelli, "Automated Pest Detection With DNN on the Edge for Precision Agriculture," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 458–467, Sep. 2021. DOI: 10.1109/JETCAS.2021.3101740. [En línea: https://arxiv.org/abs/2108.00421] arXiv+1

[5] Blue River Technology y John Deere, *See & Spray™ / See & Spray Ultimate: tecnología de visión para aplicación selectiva de herbicidas*, comunicado técnico / páginas corporativas, 2021. [En línea: https://www.deere.com/en/news/all-news/see-spray-ultimate/]

[6] Design News, "Build a better automated farm with the John Deere Operations Center," *DesignNews*, 2024. [En línea: https://www.designnews.com/automation/build-a-better-automated-farm-with-the-john-deere-operations-center]

[7] Counterpoint Research, "John Deere Connected Agriculture Strategy," Counterpoint Research, 2023. [En línea: https://www.counterpointresearch.com/insight/john-deere-connected-agriculture/]

**Bibliografía complementaria**

M. Bragachini, A. Méndez, F. Scaramuzza y F. Proietti, *Proyecto Agricultura de Precisión: Hacia una agricultura sustentable. Actualización Técnica N.º 6*, INTA, 2006. [En línea: https://mecanizacionagricolafca.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/12/agricultura-de-precision-actualizacic3b3n-tc3a9nica-nc2ba-6.pdf]

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), *Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas (Actualización Técnica N.º 10)*, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2012. [En línea:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



https://backend.educ.ar/refactor_resource/get-attachment/1991]

V. Mazzia, A. Khaliq, F. Salvetti y M. Chiaberge, "Real-Time Apple Detection System Using Embedded Systems With Hardware Accelerators: An Edge AI Application," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 9102–9114, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2964608.

R. K. Singh, R. Berkvens y M. Weyn, "AgriFusion: An Architecture for IoT and Emerging Technologies Based on a Precision Agriculture Survey," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 136253–136283, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3116814.

E. E. K. Senoo, E. Akansah, I. Mendonça y M. Aritsugi, "Monitoring and Control Framework for IoT, Implemented for Smart Agriculture," *Sensors*, vol. 23, no. 5, art. 2714, 2023. DOI: 10.3390/s23052714.

A. Triantafyllou, P. Sarigiannidis y S. Bibi, "Precision agriculture: A remote sensing monitoring system architecture," *Information*, vol. 10, no. 11, art. 348, 2019. DOI: 10.3390/info10110348.

P. Lottes, J. Behley, N. Chebrolu, A. Milioto y C. Stachniss, "Robust stem joint detection and weed classification in crops using image sequences for plant-specific treatment in precision agriculture," *Journal of Field Robotics*, vol. 37, pp. 20–34, 2020. DOI: 10.1002/rob.21901.

**Datos de Contacto**

*Agustina Mariel Pereyra*
*Universidad Nacional del Chaco Austral*
*J. García 1754, Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina*
*d15.pereyra.agustina@gmail.com*

*Santiago Lautaro Polischuk*
*Universidad Nacional del Chaco Austral*
*Moreno 687, Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina*
*lauta981@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# "Ingeniería aplicada al agro: análisis de los principales sistemas tecnológicos de la Agricultura de Precisión"

**Pereyra, Agustina; Polischuk, Lautaro**
**Universidad Nacional del Chaco Austral, Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas**

**Abstract**

*La Agricultura de Precisión (AP) constituye una estrategia tecnológica clave para enfrentar los desafíos actuales de la producción agropecuaria, en un contexto global de demanda creciente de alimentos, presión ambiental y necesidad de eficiencia. Este trabajo tiene como objetivo describir de manera sistemática los principales componentes funcionales de la AP, analizar su integración tecnológica y evaluar sus beneficios potenciales reportados en sistemas extensivos de producción agrícola, con énfasis en su aplicación en la región NEA de Argentina. A través de una revisión técnica y la sistematización de experiencias a campo documentadas en la literatura, se caracterizan tecnologías como sensores remotos y locales, sistemas de posicionamiento GNSS, herramientas de guiado automático, conectividad mediante IoT, plataformas de gestión digital, control de aplicaciones variables y sistemas de soporte a la decisión. Los resultados permiten visualizar que la implementación de estos componentes, de manera integrada, contribuye a optimizar el uso de insumos como fertilizantes y fitosanitarios, mejorar la trazabilidad de las labores, reducir el impacto ambiental y aumentar la eficiencia operativa. Asimismo, se identifican barreras de adopción vinculadas a la capacitación técnica, conectividad y estructura de costos. Se concluye que la AP debe abordarse como un sistema tecnológico multidisciplinar, donde la articulación entre la ingeniería en sistemas y la agronomía resulta fundamental para alcanzar una producción inteligente, sostenible y adaptable a los desafíos del siglo XXI.*

**Palabras clave**

Agricultura de Precisión, Sensores, GNSS, Plataformas Digitales, IoT, Aplicación Variable, Sostenibilidad

## Introducción

El modelo productivo agropecuario enfrenta múltiples desafíos: el crecimiento demográfico global, la presión por preservar los recursos naturales, la necesidad de mejorar la eficiencia operativa y el contexto cambiante generado por el cambio climático. En este escenario, la Agricultura de Precisión (AP) emerge como una estrategia tecnológica multidisciplinaria que permite producir más y con mayor calidad, minimizando el impacto ambiental mediante el uso intensivo de datos, sensores y automatización.

La AP no se limita a una herramienta aislada, sino que constituye un sistema integrado de componentes tecnológicos que interactúan entre sí. Estos abarcan desde sensores y sistemas de posicionamiento hasta plataformas digitales que consolidan datos, automatizan decisiones y facilitan la gestión detallada de lotes, cultivos, maquinaria y labores agrícolas. Sin embargo, con frecuencia, estos elementos se analizan de forma fragmentada, dificultando la comprensión de la AP como un sistema integral.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El presente trabajo tiene como objetivo describir y caracterizar los principales componentes funcionales de la Agricultura de Precisión, detallando sus tecnologías, su función en el sistema productivo y los beneficios reportados en estudios previos cuando se implementan de manera sinérgica. A partir de una revisión técnica y la sistematización de experiencias locales documentadas en la región NEA argentino, se analizan las posibilidades de adopción y los obstáculos que aún persisten en la transición hacia un agro digital. Desde una perspectiva que articula la ingeniería de sistemas con la agronómica, se propone una mirada integral sobre cómo los avances tecnológicos pueden contribuir a una producción más inteligente, eficiente y sustentable.

**Metodología**

El trabajo se desarrolló mediante una revisión técnica sistemática de fuentes académicas, informes institucionales y experiencias de campo documentadas en la región NEA de Argentina.
Se establecieron criterios de selección de fuentes: relevancia para la Agricultura de Precisión, actualidad (2018–2024), y aplicabilidad al contexto regional.
Se analizaron publicaciones del INTA, John Deere Operations Center, Auravant, Trimble Ag Software y Climate FieldView, priorizando estudios con datos reportados de eficiencia de insumos, rendimiento y trazabilidad.
Las experiencias locales se sistematizaron mediante observaciones de campo, describiendo cultivos, maquinaria y sensores utilizados, sin registrar mediciones propias.
Finalmente, se elaboró un modelo conceptual de flujo de información que representa la interacción entre sensores, maquinaria y plataformas digitales, constituyendo la base del análisis ingenieril y la integración tecnológica.

**Desarrollo**

1. Sensores y monitoreo de variables clave

Los sensores son el eje fundamental de la Agricultura de Precisión, permitiendo capturar información detallada y en tiempo real del sistema productivo. Se utilizan sensores locales (humedad de suelo, presión, temperatura, conductividad eléctrica) y remotos (satélites, drones, plataformas aéreas). Los beneficios descritos, como la detección temprana de estrés hídrico o variabilidad edáfica, se reportan en estudios del INTA y otras publicaciones [1], [2].

Su función principal es generar información continua y localizada, que luego se integra a plataformas de gestión para diagnóstico agronómico. Entre los beneficios más destacados se encuentra la detección temprana de estrés hídrico, variabilidad edáfica, problemas de compactación o fallas operativas de maquinaria, todo en tiempo real o cuasi real.

En zonas del NEA, por ejemplo, sensores de humedad han permitido ajustar la programación de siembra, evitar siembras en suelos saturados y mejorar la eficiencia de uso de agua, especialmente en campañas con lluvias irregulares.

Los sensores son el eje fundamental de la Agricultura de Precisión, ya que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permiten capturar información detallada y en tiempo real del sistema productivo. En la actualidad, se utilizan sensores locales —como los de humedad de suelo, presión, temperatura y conductividad eléctrica— y remotos, como los montados en satélites, drones o plataformas aéreas, capaces de medir índices espectrales asociados al vigor del cultivo. En Argentina, estudios del INTA demostraron que la instalación de sensores de humedad en suelos del centro-norte del país permitió ajustar los calendarios de siembra y reducir riesgos por anegamiento o déficit hídrico, optimizando la eficiencia en el uso del agua y del recurso energético para riego [1], [2].

2. Sistemas de posicionamiento y guiado automático

El uso de tecnologías GNSS (Global Navigation Satellite Systems), como GPS, GLONASS o Galileo, permite localizar con precisión centimétrica la posición de maquinaria agrícola en campo. Mediante correcciones diferenciales (RTK, SF1, SF3), estos sistemas habilitan el guiado automático, la conducción autónoma y la generación de mapas georreferenciados.

En experiencias reportadas por productores del Chaco y Santa Fe, se observó una reducción del 8–12 % en el consumo de combustible y un aumento de la precisión de laboreo con sistemas de guiado automático implementados en tractores y pulverizadoras [3], [4].

Estos resultados confirman la relevancia del posicionamiento satelital en la gestión agronómica y la trazabilidad espacial de labores.

Además, la georreferenciación es la base de la prescripción por ambientes, ya que permite aplicar insumos diferenciadamente dentro de un mismo lote.

3. Plataformas digitales de gestión

Las plataformas digitales como John Deere Operation Center, Auravant, Trimble Ag Software o Climate FieldView permiten centralizar la información del sistema productivo. Estas herramientas combinan mapas de rendimiento, registros operativos, imágenes satelitales, prescripciones de insumos y análisis comparativos entre campañas.

Su valor reside en convertir los datos recolectados por sensores y maquinarias en información útil para la toma de decisiones agronómicas y logísticas. Además, habilitan el trabajo colaborativo entre productores, asesores, concesionarios y técnicos, mejorando la trazabilidad y la planificación.

En la región NEA, su uso ha comenzado a expandirse entre empresas de maquinaria y productores tecnificados, aunque persisten desafíos como la conectividad rural, la capacitación técnica y la compatibilidad entre sistemas.

Las plataformas digitales como John Deere Operations Center, Auravant y Climate FieldView integran mapas de rendimiento, imágenes satelitales, registros de labores y prescripciones, facilitando la toma de decisiones basada en datos. En Argentina, su adopción ha crecido en regiones como el NEA y la Pampa Húmeda, impulsada por concesionarios y servicios de agricultura de precisión del INTA. Según un estudio reciente de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Andriulo y colaboradores, los productores que utilizan plataformas digitales aumentaron hasta un 15 % la eficiencia en el uso de insumos y mejoraron la trazabilidad de operaciones, aunque la compatibilidad entre plataformas, estandarización de datos y la conectividad rural sigue siendo una limitante estructural [5].

| Plataforma | Funcionalidades clave | Interoperabilidad |
|---|---|---|
| John Deere Operations Center | Mapas de rendimiento, prescripciones de insumos, análisis comparativo | Compatible ISOBUS; integración parcial con otros sistemas |
| Auravant | Mapas de rendimiento, prescripciones, registro de labores | API abierta, integración con GIS |
| Trimble Ag Software | Gestión de parcelas, análisis de insumos, soporte a decisiones | ISOBUS, integración con maquinaria Trimble |
| Climate FieldView | Monitoreo satelital, análisis de rendimiento, control de insumos | Integración limitada; exportación de datos CSV |

*Tabla 1. Comparación de plataformas digitales de agricultura de precisión.*

## 4. IoT y conectividad en tiempo real

El Internet de las Cosas (IoT) aplicado a la agricultura consiste en la interconexión de sensores, estaciones meteorológicas, maquinaria y plataformas digitales que capturan, transmiten y procesan datos en tiempo real, permitiendo optimizar la toma de decisiones agronómicas. Estos sistemas integran hardware, software y redes de comunicación, tales como Wi-Fi, LoRaWAN, 4G o enlaces satelitales, conformando la infraestructura clave de la Agricultura de Precisión y la Agricultura Inteligente. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia en el uso de recursos, incrementar la productividad y disminuir el impacto ambiental mediante decisiones basadas en datos [6], [7].

En Argentina, la conectividad rural representa un desafío crítico para la adopción plena de tecnologías IoT agrícolas. Según el ENACOM, la cobertura 4G se concentra en zonas urbanas, mientras que en áreas rurales el acceso puede ser limitado o discontinuo, especialmente en regiones del norte del país [8], [10]. Para suplir estas limitaciones, la conectividad satelital, como la provista por Starlink, y los enlaces punto a punto constituyen alternativas viables, aunque con mayores costos operativos . Las redes Wi-Fi rurales o de radioenlace pueden ser útiles para estaciones meteorológicas o nodos fijos de monitoreo, pero presentan restricciones de alcance y movilidad [22].

Los sensores IoT agrícolas generan distintos volúmenes de datos según el tipo de dispositivo y la frecuencia de muestreo. Por ejemplo, un sensor de humedad de suelo puede registrar lecturas desde una por hora hasta una por minuto, mientras que una estación meteorológica automática puede generar desde unos pocos megabytes hasta decenas de megabytes al mes. Los drones multiespectrales pueden producir cientos de megabytes a varios gigabytes por vuelo, según la extensión cubierta, la resolución y el solapamiento de imágenes [18], [23], [19].

Toda esta información se integra en plataformas digitales como John Deere Operations Center, Climate FieldView o Auravant, que permiten almacenamiento, análisis y visualización centralizada de los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



datos [6], [11], [7]. En Argentina, proyectos desarrollados por el INTA en Manfredi (Córdoba) han demostrado la utilidad de la IoT para monitoreo de humedad y manejo de riego, optimizando el uso del agua y mejorando la eficiencia operativa [2], [12].

A pesar de estos avances, la implementación de sistemas IoT agrícolas enfrenta desafíos técnicos importantes. En zonas con cobertura parcial, la latencia de transmisión y la pérdida de paquetes pueden afectar la disponibilidad de datos en tiempo real, especialmente en redes de baja potencia o enlaces satelitales. La vida útil de los sensores autónomos depende de la capacidad de batería, frecuencia de transmisión y condiciones ambientales, generalmente entre dos y tres años. Además, la interoperabilidad entre equipos de distintas marcas y protocolos sigue siendo un desafío, debido a la coexistencia de estándares abiertos como ISO 11783 (ISOBUS) y marcos de comunicación propietarios [13]–[15].

La implementación de sistemas IoT agrícolas enfrenta desafíos técnicos importantes, incluyendo interoperabilidad, latencia de transmisión y vulnerabilidades de ciberseguridad, según reporta la literatura [6], [7], [28]. La integración de IoT con plataformas digitales agrícolas posibilita la automatización de procesos, la generación de alertas predictivas y la toma de decisiones basada en datos. El uso de algoritmos de control adaptativo, análisis de series temporales y computación en la nube permite detectar anomalías, anticipar eventos climáticos o fitosanitarios y optimizar la aplicación de insumos. Estas innovaciones conforman una tendencia creciente hacia sistemas agrícolas conectados, sostenibles y resilientes [16]–[18].

La implementación de IoT agrícola también requiere considerar la ciberseguridad, que puede afectar la integridad y disponibilidad de los datos, según Senoo et al. [28]. La interoperabilidad y latencia de transmisión son factores críticos para el desempeño de estos sistemas.

## 5. Aplicación variable y control por secciones

Las tecnologías de aplicación variable permiten ajustar en tiempo real la cantidad de semillas, fertilizantes o agroquímicos que se distribuyen en distintas zonas del lote, en función de prescripciones digitales. Asimismo, el control por secciones en pulverizadoras y sembradoras evita superposiciones en cabeceras o bordes de lote.

La aplicación variable permite ajustar la dosis de insumos según la variabilidad del lote, mientras que el control por secciones evita superposiciones. Ensayos realizados por INTA Manfredi demostraron reducciones del 12–20 % en el uso de nitrógeno y hasta un 18 % en fitosanitarios mediante la implementación de prescripciones digitales y control automático en pulverizadoras. Además, se comprobó una disminución significativa de la deriva y el impacto ambiental asociado [19], [20]. Estas tecnologías se consolidan como herramientas clave para una agricultura más eficiente y sustentable.

## 6. Gestión de datos y soporte a la decisión

El volumen de información que se genera en un ciclo agrícola moderno exige herramientas de análisis que permitan identificar patrones, comparar campañas y proyectar escenarios. Las plataformas de AP incorporan paneles de control, reportes automatizados y sistemas de soporte a la decisión que permiten:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Comparar híbridos o variedades en distintos lotes.
- Evaluar eficiencia operativa por máquina u operario.
- Estimar márgenes brutos por ambiente de manejo.

El volumen de datos generado por sensores, maquinaria y plataformas requiere sistemas avanzados de análisis para convertirlos en información útil. Las herramientas de gestión de datos agrícolas integran reportes de rendimiento, análisis comparativos entre campañas y modelos predictivos basados en inteligencia artificial. En la región pampeana y NEA, el INTA ha desarrollado proyectos piloto que incorporan tableros de control y algoritmos de decisión para estimar márgenes por ambiente y eficiencia operativa [15], [21]. Estos avances representan un paso hacia la agricultura inteligente, donde los datos se transforman en decisiones agronómicas precisas y medibles [26], [30].

La adopción de estas herramientas todavía es baja en muchos productores, debido a la falta de formación en analítica de datos y al desconocimiento de su potencial. El desafío actual es democratizar el uso de estos sistemas, con interfaces simples y accesibles, pero con potencia analítica suficiente.




*Figura 1: Arquitectura funcional de un sistema de Agricultura de Precisión.*

**Conclusión y Trabajos Futuros**

La Agricultura de Precisión (AP) se consolida como un sistema tecnológico integral que articula sensores locales y remotos, sistemas GNSS, conectividad IoT, plataformas digitales de gestión, automatización de tareas y análisis avanzado de datos. Lejos de ser un conjunto de herramientas aisladas, la AP constituye una red funcional orientada a optimizar la toma de decisiones agronómicas, mejorar la trazabilidad productiva y promover una producción más eficiente y sustentable.

El presente trabajo permitió sistematizar y describir la arquitectura funcional de la AP, vinculando los principales componentes tecnológicos que la integran y evidenciando sus beneficios comprobables en términos de eficiencia operativa, uso racional de insumos y sostenibilidad ambiental. Este enfoque integrador —que combina perspectivas de la ingeniería agronómica y la ingeniería en sistemas— representa un avance frente a estudios previos que abordan los componentes de forma aislada o desde una única disciplina.

No obstante, el estudio presenta limitaciones metodológicas que deben considerarse. En primer lugar, su carácter descriptivo no permitió cuantificar el impacto directo de cada componente sobre variables productivas o ambientales. En segundo lugar, el análisis se basó principalmente en documentación técnica y experiencias registradas en la región NEA de Argentina, restringiendo la generalización de los resultados. Además, no se abordó de manera exhaustiva la interoperabilidad entre plataformas ni la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



integración entre fabricantes, aspectos decisivos para la adopción práctica de la tecnología en el territorio.

En comparación con antecedentes nacionales e internacionales, este trabajo aporta una representación gráfica explícita de la arquitectura funcional de la AP (Figura 1), contextualizada al marco productivo argentino. Dicha representación permite visualizar el flujo de información desde la captura de datos hasta la toma de decisiones y retroalimentación a la maquinaria, fortaleciendo la comprensión del sistema como un circuito integrado y no como una suma de partes.

De este modo, el estudio no solo ofrece una base conceptual, sino también un marco operativo para futuras investigaciones que busquen medir el desempeño real de la AP en campo. En esa línea, se proponen las siguientes líneas de trabajo futuras:

- Evaluar cuantitativamente el impacto productivo, económico y ambiental de la adopción de AP, comparando unidades de manejo con y sin tecnología.
- Diseñar y testear interfaces simplificadas y adaptadas a contextos rurales con baja conectividad y escasa alfabetización digital.
- Profundizar el análisis de interoperabilidad entre plataformas y de compatibilidad entre marcas y fabricantes.
- Desarrollar un prototipo de dashboard simplificado para productores con baja alfabetización digital.
- Analizar casos de implementación de AP en producciones regionales características del NEA (algodón, forestación, ganadería).
- Estudiar modelos de negocio y esquemas asociativos que democraticen el acceso a tecnologías de AP.

En síntesis, este trabajo contribuye al fortalecimiento del paradigma de la agricultura basada en datos, donde la información deja de ser un subproducto y pasa a ocupar un rol central en la decisión agronómica, impulsando un modelo productivo más informado, sostenible y colaborativo.

**Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Chaco Austral, por brindarnos el apoyo académico y los recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo de investigación.

También agradecemos profundamente a la Dra. Ing. Patricia Zachman, por su guía constante, su dedicación y el acompañamiento que nos brindó durante todo el proceso. Su asesoramiento fue clave para la realización de este trabajo.

**Referencias**

[1] M. Hardie, P. Cavigliasso y D. Rodriguez, “Implementación de sensores de humedad para optimizar riego en cultivos de soja en el centro-norte de Argentina,” *Revista de Tecnología Agrícola*, vol. 12, pp. 45–53, 2020.

[2] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), “Proyectos de Agricultura de Precisión en el NEA argentino,” INTA, 2023. [En línea]. Disponible en: https://inta.gob.ar

[3] D. Radočaj et al., “Impacto del guiado automático en la eficiencia de tractores y pulverizadoras en Argentina,” *Agricultural Engineering International*, vol. 25, no. 2, pp. 115–128, 2023.

[4] M. Pérez-Ruiz et al., “Uso de GNSS en agricultura de precisión: experiencias argentinas,”

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Precision Agriculture*, vol. 13, pp. 301–318, 2012.

[5] A. Andriulo et al., "Impacto de plataformas digitales en la eficiencia de insumos en la región NEA y Pampa Húmeda," *Revista de Agricultura de Precisión*, vol. 7, pp. 55–67, 2022.

[6] L. Xu et al., "IoT-enabled smart agriculture: technologies, applications, and challenges," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 193, art. 106614, 2022, doi: 10.1016/j.compag.2022.106614.

[7] A. Kumar, "Integración de IoT en agricultura de precisión: perspectivas y retos," *International Journal of Agricultural Technology*, vol. 15, pp. 101–118, 2024.

[8] ENACOM, "Informe de cobertura 4G rural en Argentina," ENACOM, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.enacom.gob.ar

[9] BNamericas, "Satellite and Rural Connectivity in Latin America," BNamericas, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.bnamericas.com

[10] Task Force on Precision Agriculture Connectivity, "Precision Agriculture Connectivity Challenges," 2023.

[11] R. Solvi, "Gestión de datos agrícolas mediante plataformas IoT," *Revista Tecnología y Agricultura*, vol. 10, pp. 15–27, 2022.

[12] INTA, "Proyectos de optimización de riego en Manfredi, Córdoba," INTA, 2024.

[13] H. Ren et al., "Challenges in IoT adoption for smart agriculture," *Sensors*, vol. 24, art. 3310, 2024, doi: 10.3390/s24093310.

[14] J. López et al., "Data management and decision support in precision agriculture," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 194, art. 106735, 2022, doi: 10.1016/j.compag.2022.106735.

[15] B. Duguma, "IoT and digital transformation in agriculture: trends and future directions," *Agricultural Systems*, vol. 204, art. 103648, 2024.

[16] INTA, "Aplicación variable y control por secciones en cultivos de soja," INTA, 2021.

[17] R. Balboa, "Control por secciones y eficiencia de insumos agrícolas," *Revista de Tecnología Agrícola*, vol. 9, pp. 33–45, 2018.

[18] R. Bongiovanni y J. Lowenberg-DeBoer, "Precision agriculture and the future of farming in Argentina," *Precision Agriculture*, vol. 21, pp. 1234–1256, 2020.

**Bibliografía complementaria**

A. Albanese, M. Nardello y D. Brunelli, "Detección automatizada de plagas con DNN en el borde para la agricultura de precisión," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 458–467, sep. 2021, doi: 10.1109/JETCAS.2021.3101740.

M. Bragachini, A. Méndez, F. Scaramuzza y F. Proietti, *Proyecto Agricultura de Precisión: Hacia una agricultura sustentable* (Actualización Técnica N.º 6). INTA, 2006. [En línea]. Disponible en: https://mecanizacionagricolafca.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/12/agricultura-de-precision-actualizacic3b3n-tc3a9nica-nc2ba-6.pdf

Counterpoint Research, "John Deere Connected Agriculture Strategy," Counterpoint Research, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.counterpointresearch.com/insight/john-deere-connected-agriculture/

Design News, "Build a better automated farm with the John Deere Operations Center," *DesignNews*, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.designnews.com/automation/build-a-better-automated-farm-with-the-john-deere-operations-center

INTA, *Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas* (Actualización Técnica N.º 10), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2012. [En línea]. Disponible en: https://backend.educ.ar/refactor_resource/get-attachment/1991

V. Mazzia, A. Khaliq, F. Salvetti y M. Chiaberge, "Sistema de detección de Apple en tiempo real mediante sistemas integrados con aceleradores de hardware: una aplicación de IA de borde," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 9102–9114, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2964608.

A. Pretto et al., "Construcción de un sistema robótico aéreo-terrestre para la agricultura de precisión: Una solución adaptable," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 28, no. 3, pp. 29–49, sep. 2021, doi: 10.1109/MRA.2020.3012492.

R. K. Singh, R. Berkvens y M. Weyn, "AgriFusion: Una arquitectura para IoT y tecnologías emergentes basada en una encuesta de agricultura de precisión," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 136253–136283, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3116814.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



G. Stamatescu, C. Drăgana, I. Stamatescu, L. Ichim y D. Popescu, "Procesamiento distribuido de datos con IoT para agricultura de precisión," *27th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, Akko, Israel, 2019, pp. 286–291, doi: 10.1109/MED.2019.8798504.

E. E. K. Senoo, E. Akansah, I. Mendonça y M. Aritsugi, "Monitoring and Control Framework for IoT, Implemented for Smart Agriculture," *Sensors*, vol. 23, no. 5, art. 2714, 2023, doi: 10.3390/s23052714.

A. Triantafyllou, P. Sarigiannidis y S. Bibi, "Agricultura de precisión: Una arquitectura de sistema de monitoreo por teledetección," *Information*, vol. 10, no. 11, art. 348, 2019, doi: 10.3390/info10110348.

P. Lottes, J. Behley, N. Chebrolu, A. Milioto y C. Stachniss, "Detección robusta de articulaciones de tallos y clasificación de malezas en cultivos mediante secuencias de imágenes para el tratamiento específico de plantas en agricultura de precisión," *Journal of Field Robotics*, vol. 37, pp. 20–34, 2020. https://doi.org/10.1002/rob.21901.

**Datos de Contacto**

*Agustina Mariel Pereyra*
*Universidad Nacional del Chaco Austral*
*J. García 1754, Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina*
*d15.pereyra.agustina@gmail.com*

*Santiago Lautaro Polischuk*
*Universidad Nacional del Chaco Austral*
*Moreno 687, Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina*
*lauta981@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Plataforma para el seguimiento del bienestar emocional y organizacional en empresas

**Pesce, Franco - Vazquez, Juan Martín - Torrente, Manuel - Trias, Andres - Golfieri, Zoe**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

En la actualidad, las organizaciones enfrentan el desafío de monitorear de forma continua y efectiva el bienestar emocional de sus empleados, factor clave para la retención de talento y la productividad. Las encuestas de clima laboral tradicionales, de aplicación esporádica y sin mecanismos de seguimiento, resultan insuficientes para detectar a tiempo situaciones de riesgo como burnout, depresión o estrés crónico. Este trabajo presenta una plataforma digital diseñada para recolectar datos emocionales de forma anónima y periódica mediante cuestionarios basados en escalas psicológicas validadas, integrando un sistema de gamificación para incentivar la participación, paneles de control con métricas agregadas y alertas automáticas ante indicadores críticos. La arquitectura propuesta combina un frontend en ReactJS y un backend en Java/Spring Boot con base de datos PostgreSQL en infraestructura PaaS, e integra APIs de comunicación como Slack, Teams y WhatsApp. La solución busca brindar a las áreas de Recursos Humanos información objetiva y procesable, habilitando acciones preventivas y mejorando la toma de decisiones para promover entornos laborales más saludables.

**Palabras clave**

Bienestar emocional; Clima laboral; Gamificación; Recursos Humanos; Salud mental laboral.

## 1. Introducción

En los últimos años, la salud mental y el bienestar emocional en el ámbito laboral han cobrado relevancia creciente, no solo por su impacto en la calidad de vida de los trabajadores, sino también por su relación directa con la productividad y retención de talento. Estudios recientes indican que fenómenos como el burnout y el estrés crónico afectan de forma significativa a los equipos de trabajo, reduciendo su desempeño y aumentando la rotación de personal.

Pese a ello, muchas organizaciones carecen de herramientas efectivas para monitorear el bienestar emocional de sus empleados de forma continua, especialmente con un enfoque preventivo. Las soluciones existentes suelen limitarse a encuestas genéricas de clima laboral, sin mecanismos de seguimiento, gamificación ni alertas tempranas.

Este proyecto surge como respuesta a esta necesidad, con el objetivo de brindar a las empresas una plataforma que no solo mida, sino que también facilite la acción a partir de datos emocionales objetivos, anónimos y periódicos.

## 2. Objetivos

1. Brindar a las empresas información objetiva y rápida sobre el bienestar de sus empleados mediante encuestas concisas que se le realizan a los empleados, basadas en escalas psicológicas validadas (PHQ-9, GAD-7, Maslach Burnout Inventory) [1][2][3].
2. Sistema de puntuación automático asociado al grado de participación del usuario en los cuestionarios.
3. Ver el estado emocional de los empleados mediante un dashboard de métricas.
4. Desarrollar un módulo de administración de recompensas para que el área de RRHH configure incentivos personalizados.
5. Incorporar un sistema de alertas automáticas ante detección de indicadores críticos de malestar emocional.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 3. Elementos de trabajo y metodología

### 3.1 Enfoque de Implementación del Proyecto

Se adoptó metodología ágil Scrum con sprints de 15 días y 6 releases planificadas. Esta elección responde a la incertidumbre técnica en integraciones con APIs externas (Slack, Discord, WhatsApp) y alta probabilidad de cambios en requerimientos durante el desarrollo. La metodología permite adaptarse a cambios frecuentes y realizar validaciones continuas con usuarios.

Se implementó Trunk-Based Development donde cada cambio requiere revisión y aprobación mediante pull requests. La integración continua (CI/CD) utiliza GitHub Actions, automatizando pruebas y permitiendo identificar fallas rápidamente.

### 3.2 Equipo de proyecto

El equipo está compuesto por cinco estudiantes avanzados del último año de Ingeniería en Sistemas, cada uno desempeñando múltiples roles:

- Project Manager: Gestiona el proyecto integralmente, coordinando calendario, tareas del equipo y seguimiento del progreso. Garantiza el cumplimiento de objetivos y plazos establecidos.
- Product Owner: Define y prioriza requerimientos del backlog, asegurando alineación con necesidades del negocio y expectativas de usuarios finales.
- Backend Developer SR: Implementa lógica del servidor, APIs REST y gestión de bases de datos. Experiencia en Docker, Java, Spring Boot, PostgreSQL, Spring Security, JWT.
- Frontend Engineer SR: Desarrolla interfaces intuitivas y experiencia de usuario. Dominio de React, Next.js, JavaScript y metodologías responsive.
- Arquitecto de Software: Define arquitectura del sistema, patrones de diseño y decisiones técnicas estructurales. Experiencia en arquitecturas distribuidas y microservicios.
- Analista Funcional: Análisis y definición de requisitos funcionales, casos de uso y documentación técnica.
- Tester/QA: Asegura calidad mediante pruebas unitarias, integración y usabilidad. Define estrategias de testing y documenta defectos.
- Scrum Master: Facilita ceremonias ágiles, remueve impedimentos y asegura adherencia a principios Scrum.

### 3.3 Tecnologías Utilizadas

La arquitectura tecnológica fue seleccionada considerando escalabilidad, mantenibilidad y experiencia del equipo:

- Frontend: ReactJS proporciona capacidad para crear interfaces intuitivas con amplia documentación y recursos. El equipo cuenta con experiencia previa, facilitando un desarrollo ágil.
- Backend: Java con Spring Boot ofrece robustez, seguridad y escalabilidad. Facilita desarrollo ágil, reduce complejidad de configuración y permite integraciones eficientes con servicios externos.
- Base de Datos: PostgreSQL en Heroku Postgres por su desempeño probado, estabilidad y eficiencia en gestión de grandes volúmenes. Ofrece respaldo automático y alta disponibilidad.
- Infraestructura: Heroku como PaaS reduce complejidad de configuraciones. Plan inicial Basic Dynos con posibilidad de escalar a Standard según demanda.
- Integraciones: APIs de Slack, Discord, Teams para distribución de encuestas. WhatsApp mediante

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



bibliotecas como Baileys.

## 5. Fundamentos

### 5.1 Validación de Mercado

Para validar viabilidad se realizaron dos encuestas fundamentales. Primera: 148 empleados sobre percepción del bienestar emocional y disposición de uso. Segunda: 18 profesionales RRHH sobre necesidades desde perspectiva de gestión. Encuestas distribuidas online, complementadas con entrevistas exploratorias. Análisis cuantitativo y cualitativo para identificar patrones y necesidades específicas.

### 5.2 Perspectiva de Empleados

Los 148 empleados encuestados revelaron datos contundentes. La mayoría experimenta estrés laboral "a veces" o "frecuentemente", confirmando un problema generalizado. Una parte significativa manifestó que sus empresas no ofrecen herramientas de salud mental o desconocen su existencia. Muchos no perciben espacios seguros para expresar emociones, reforzando la necesidad de herramientas confidenciales.

La disposición a participar mejora si las evaluaciones son: breves (menos de 5 minutos), confidenciales, accesibles desde móviles, y con frecuencia mensual o trimestral. El interés aumenta notablemente con incentivos, validando el enfoque de gamificación. Los comentarios destacaron: "Es una idea muy necesaria", "La salud mental está descuidada en entornos laborales".

### 5.3 Perspectiva de RRHH

La encuesta a profesionales de RRHH proporcionó insights cruciales. El 100% afirmó que el bienestar emocional es importante para el rendimiento. El 80% detectó señales de burnout en sus equipos. Aunque existen algunas herramientas, el principal desafío es "accionar a partir del feedback recibido" sin herramientas de seguimiento.

Respecto al interés en la solución: 100% mostró interés en datos objetivos sobre estado emocional, 80% consideró útil el registro anónimo, 80% desea alertas tempranas, 80% implementaría la plataforma, y 80% cree que ayudaría a prevenir burnout. Los profesionales enfatizaron la necesidad de "facilitar la acción desde los datos" e integración con acciones existentes.

## 6. Plan de Trabajo

El proyecto se estructura en seis releases principales distribuidas a lo largo de ocho meses (marzo-noviembre 2025), siguiendo metodología Scrum con sprints quincenales. Cada release agrupa entregables específicos que contribuyen progresivamente a la construcción del sistema completo.

### 6.1. Release 0: Inicio del Proyecto y Validación de Idea

*(Sprints 1-3: 26/03 - 11/05)*

Esta fase inicial establece fundamentos del proyecto mediante validación de la idea central y análisis de viabilidad. Se completa Business Model Canvas identificando propuesta de valor, segmentos de clientes y modelo de ingresos. El Acta de Proyecto define objetivos, alcance y beneficios esperados. Se desarrolla WBS desglosado con todas las tareas identificadas y estimadas. El Estudio de Factibilidad analiza viabilidad técnica, legal, de mercado y calendario. Se realiza análisis de riesgos identificando amenazas principales y estrategias de mitigación. Story Mapping e Impact Mapping clarifican funcionalidades y su impacto. Las encuestas a 148 empleados y 18 profesionales RRHH validan la necesidad del mercado. Release Plan establece cronograma completo del proyecto.

### 6.2. Release 1: Definición del Alcance

*(Sprints 4-7: 12/05 - 11/07)*

Define alcance detallado y arquitectura del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistema. Matriz de Habilidades y Competencias mapea capacidades del equipo. Matriz de Roles y Responsabilidades clarifica asignaciones por entregable. Matriz de Comunicaciones establece canales y frecuencias. Registro de Interesados identifica stakeholders clave. Product Backlog priorizado lista todas las funcionalidades. Historias de Usuario detallan requerimientos desde la perspectiva del usuario. Estimación de Costos calcula la inversión necesaria. El Documento de Arquitectura define la estructura técnica del sistema. Sprint Backlog específico para este release. Primer tablero de control monitorea avance del proyecto.

### 6.3. Release 2: Diseño de la Arquitectura Técnica

*(Sprint 8: 12/07 - 26/07)*

Fase concentrada en diseño técnico detallado. Mockups de interfaz visualizan la experiencia de usuario para cada módulo. El Diagrama Entidad-Relación modela estructura de base de datos con todas las tablas y relaciones. El Diagrama de Clases define arquitectura orientada a objetos del backend. Sprint Backlog específico para arquitectura técnica. Esta release corta pero crítica establece blueprints técnicos para todo el desarrollo posterior.

### 6.4. Release 3: Desarrollo de Funcionalidades Principales

*(Sprints 9-12: 27/07 - 26/09)*

Desarrollo intensivo de módulos core del sistema. Módulo de Formularios implementa creación, gestión y respuesta de cuestionarios con escalas psicológicas validadas. Integración con APIs de Slack, Teams, Discord y WhatsApp para distribución automática. Módulo Dashboard Analítico desarrolla visualizaciones interactivas, métricas agregadas y exportación de reportes. Sprint Backlog actualizado para funcionalidades principales. Segundo y tercer tablero de control monitorean el progreso de desarrollo.

### 6.5. Release 4: Finalización y Presentación del Sistema

*(Sprints 13-15: 27/09 - 11/11)*

Completa las funcionalidades restantes y prepara la presentación. Módulo de Alertas implementa detección automática de situaciones críticas con notificaciones multicanal. Módulo de Empleado desarrolla vista personal con historial, puntaje y beneficios disponibles. Sistema de Gamificación completo con acumulación de puntos y catálogo de recompensas. Presentación comercial y póster diseñados para difusión del proyecto. Sprint Backlog específico para cierre de desarrollo. Cuarto tablero de control válida completitud funcional.

### 6.6. Release 5: Validación Final y Cierre del Proyecto

*(Sprint 16: 12/11 - 26/11)*

Etapa final enfocada en validación y documentación. El documento de pruebas detalla plan de testing, casos ejecutados y resultados obtenidos. Documento de Configuraciones especifica parámetros de instalación y deployment. Lecciones Aprendidas captura conocimiento generado durante el proyecto. El documento de cierre formaliza la finalización exitosa. Sprint Backlog para validación y cierre. Presentación final consolida toda la documentación del proyecto. Quinto tablero de control confirma cumplimiento de objetivos.

Este plan de trabajo garantiza desarrollo progresivo y controlado, con entregables claros por release que permiten validación continua y ajustes oportunos según feedback recibido.

## 7. Funcionalidades

### 7.1. Módulo de Formularios de Bienestar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El sistema permite crear y gestionar cuestionarios personalizados basados en escalas psicológicas validadas científicamente. RRHH puede diseñar formularios utilizando plantillas predefinidas (PHQ-9, GAD-7, Maslach Burnout Inventory) o crear cuestionarios personalizados con distintos tipos de respuesta. Los formularios pueden activarse/desactivarse según necesidad y configurar frecuencia de aplicación (semanal, quincenal, mensual). Los empleados responden de forma completamente anónima, garantizando confidencialidad y honestidad en las respuestas. El sistema registra respuestas por fecha permitiendo seguimiento temporal sin comprometer el anonimato individual.

**7.2. Dashboard Analítico de Métricas**

Proporciona visualización en tiempo real de indicadores agregados de bienestar organizacional. Los líderes y RRHH acceden a métricas consolidadas filtradas por fecha, sector o equipo, identificando tendencias y categorías emocionales críticas. El dashboard incluye gráficos interactivos de evolución temporal, mapas de calor emocional por departamento, y análisis comparativo entre períodos. Permite exportación de reportes en PDF y CSV para presentaciones ejecutivas. Las métricas son completamente anónimas a nivel agregado, respetando la privacidad individual mientras proporcionan insights organizacionales valiosos.

**7.3. Sistema de Alertas Automáticas**

Detecta automáticamente situaciones emocionales críticas basándose en respuestas individuales o patrones repetidos. Cuando identifica indicadores de riesgo (burnout severo, depresión, ansiedad crítica), genera alertas instantáneas a RRHH sin revelar la identidad del empleado. Las notificaciones se envían por canales configurables (Slack, Email, Teams) incluyendo fecha, motivo y nivel de criticidad. El sistema mantiene registro histórico de alertas permitiendo identificar tendencias problemáticas y evaluar efectividad de intervenciones. Esta funcionalidad es crucial para prevención temprana y gestión proactiva del bienestar.

**7.4. Módulo de Gamificación y Beneficios**

Implementa sistema de puntos que incentiva participación continua en evaluaciones de bienestar. Los empleados acumulan puntos por completar cuestionarios, mantener consistencia en respuestas y participar en actividades de bienestar. RRHH configura catálogo de beneficios canjeables (días libres, vouchers, capacitaciones) estableciendo valores en puntos y fechas de vencimiento. Cada empleado visualiza su puntaje personal, historial de acumulación y beneficios disponibles. Los beneficios incluyen códigos únicos para validación y seguimiento de uso. Este módulo aumenta significativamente las tasas de participación transformando evaluación de bienestar en experiencia positiva y rewarding.

**7.5. Integraciones con Plataformas de Comunicación**

Sistema distribuye formularios y recordatorios mediante integración nativa con herramientas empresariales. Compatible con Slack, Microsoft Teams, Discord y WhatsApp, enviando encuestas directamente donde los empleados trabajan diariamente. Las respuestas se vinculan automáticamente con el sistema central manteniendo trazabilidad y anonimato. Permite configurar frecuencia, horarios de envío y mensajes personalizados por canal. Los recordatorios inteligentes aumentan tasas de respuesta sin resultar invasivos. Esta funcionalidad elimina fricción en el proceso de evaluación, facilitando la participación desde cualquier dispositivo y ubicación.

**7.6. Reportes Personalizados por Jerarquía**

Genera reportes diferenciados según nivel jerárquico y necesidades específicas. Los empleados acceden únicamente a su reporte

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



personal con evolución de puntaje emocional. Líderes de equipo reciben consolidados de su área con métricas agregadas y tendencias. RRHH obtiene visión global organizacional con capacidad de drill-down por departamento. Product Owner accede a reportes ejecutivos con KPIs principales y comparativas temporales. Todos los reportes mantienen anonimato individual, mostrando solo datos agregados cuando incluyen múltiples personas. Sistema permite programar envío automático de reportes con frecuencia configurable.

## 8. Trabajos relacionados

Existen soluciones parciales en el mercado que abordan aspectos del problema. Las plataformas tradicionales de clima laboral como Great Place to Work [4] realizan mediciones anuales sin continuidad. Aplicaciones de mindfulness empresarial como Headspace for Work [5] se enfocan en bienestar individual sin métricas organizacionales.

Los sistemas de encuestas genéricas (SurveyMonkey, Google Forms) carecen de escalas psicológicas validadas y análisis especializado. Plataformas de RRHH como BambooHR [6] incluyen módulos básicos de satisfacción sin enfoque en salud emocional.

Este proyecto se diferencia por combinar: escalas psicológicas validadas científicamente, monitoreo continuo versus mediciones esporádicas, gamificación para incentivar la participación, integración nativa con herramientas empresariales, y alertas automáticas ante indicadores críticos. Ninguna solución actual integra todos estos elementos en una plataforma unificada específicamente diseñada para prevención de burnout y gestión proactiva del bienestar emocional organizacional.

## 9. Conclusión y trabajos futuros

El desarrollo del proyecto confirma la necesidad y relevancia de contar con herramientas que permitan a las organizaciones medir y gestionar de forma proactiva el bienestar emocional de sus empleados. A través de encuestas basadas en escalas psicológicas validadas, visualización de métricas agregadas y un sistema de alertas automáticas, la plataforma ofrece un enfoque integral que va más allá de las encuestas de clima laboral tradicionales, proporcionando datos accionables para la prevención de riesgos psicosociales. La incorporación de gamificación busca, además, aumentar significativamente la tasa de participación, lo que potencia la calidad y representatividad de la información recolectada.

El impacto potencial radica en su capacidad para transformar la gestión del bienestar laboral en un proceso continuo y basado en datos objetivos, contribuyendo a reducir la incidencia de burnout, depresión y estrés crónico, y favoreciendo la construcción de culturas organizacionales más saludables y resilientes.

Como trabajos futuros, se plantea la implementación de modelos de análisis predictivo mediante técnicas de machine learning para identificar de manera temprana perfiles de riesgo, la evaluación del sistema en entornos productivos reales y la ampliación de integraciones con nuevas plataformas de comunicación. Asimismo, se prevé la incorporación de módulos adicionales para el seguimiento longitudinal del bienestar, el análisis comparativo interdepartamental y la generación de reportes automatizados con recomendaciones específicas. En definitiva, busca consolidarse como una herramienta clave para la gestión estratégica del capital humano, aportando valor tanto a las personas como a las organizaciones.

**Referencias**

[1] Maslach, C., Jackson, S.E. (1981). Maslach Burnout Inventory.
[2] Kroenke, K., Spitzer, R. (2002). The PHQ-9: Validity of a brief depression severity measure.
[3] Spitzer, R., Kroenke, K. (2006). A brief measure for assessing generalized anxiety disorder: The GAD-7.
[4] Great Place to Work, "Tendencias del clima laboral en América Latina 2024". Disponible en: https://www.greatplacetowork.com.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[5] Headspace, "Headspace for Work: Mental health for organizations". Disponible en: https://www.headspace.com/work.
[6] BambooHR, "Employee Satisfaction and Engagement Tools". Disponible en: https://www.bamboohr.com.

**Datos de Contacto:**

*Trias, Andrés. UTN FRBA.*
*tandres@frba.utn.edu.ar*

*Torrente, Manuel. UTN FRBA..*

*mtorrente@frba.utn.edu.ar*

*Pesce, Franco. UTN FRBA.*

*fpesce@frba.utn.edu.ar*

*Vazquez, Juan Martín. UTN FRBA.*

*jmvazquez@frba.utn.edu.ar*

*Golfieri, Zoe. UTN FRBA.*
*gzoe@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# StockifAI: Plataforma inteligente de control y forecasting de stock de repuestos automotrices

**Antelo, Facundo Martin - Schaller, Gonzalo Jorge - Garcia, Gonzalo - Torres, Agustina Micaela**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
La industria automotriz en Argentina enfrenta desafíos significativos en la gestión de inventarios de repuestos, marcada por la falta de visibilidad, la alta variabilidad de la demanda y el exceso de stock inmovilizado. Este trabajo presenta StockifAI, una solución tecnológica que busca controlar, prever y optimizar el stock para talleres y concesionarios. A través de modelos de forecasting basados en series temporales y técnicas de inteligencia artificial, unificadas en una aplicación web interactiva, la solución anticipa necesidades de reposición, emite alertas sobre faltantes o excesos y sugiere recomendaciones de compra. StockifAI combina datos endógenos, como inventarios e históricos de consumo, con datos exógenos, entre ellos variables de estacionalidad, tipo de cambio y tendencias de ventas de automóviles, para ofrecer una visión centralizada y actualizada del stock. Tras la evaluación de diversos modelos de machine learning, se ha implementado un enfoque basado en árboles de decisión, lo que potencia la capacidad de forecasting del sistema. Los beneficios esperados incluyen una gestión de inventario más eficiente y una mejor toma de decisiones en la compra de insumos.

**Palabras Clave**
Gestión de inventario, Forecasting, XGBoost, Inteligencia Artificial, Repuestos Automotrices

## Introducción

En un contexto industrial marcado por la digitalización y la necesidad de tomar decisiones basadas en datos, la gestión eficiente de inventarios se ha transformado en un factor estratégico para la competitividad de las organizaciones. En particular, la industria automotriz argentina enfrenta el desafío de administrar un gran volumen y variedad de repuestos, donde los excesos de stock inmovilizado y los faltantes críticos generan elevados costos financieros, retrasos en las reparaciones y una disminución en la satisfacción de los clientes.

La gestión de inventarios en talleres y concesionarias de Argentina enfrenta problemas de sobrestock y desabastecimiento que afectan la rentabilidad y la experiencia del cliente. Actualmente, muchos actores del sector utilizan sistemas fragmentados o planillas manuales donde establecen valores predeterminados de stock mínimo sin tener en cuenta las variaciones en la demanda ni las variables exógenas que la afectan.

En este contexto, se presenta StockifAI, una plataforma centralizada que incorpora técnicas de machine learning para anticipar la demanda de repuestos automotrices. El aporte principal de este trabajo consiste en integrar un motor de predicción basado en árboles de decisión, implementado con la librería XGBoost, que permite generar predicciones y recomendaciones de reposición más precisas. Dichos resultados se ponen a disposición de los usuarios mediante dashboards en tiempo real y un sistema de alertas automáticas para apoyar la toma de decisiones estratégicas en la gestión del inventario.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una plataforma que contribuya a reducir los problemas de sobrestock y desabastecimiento en talleres y concesionarias. Para ello, la solución integra un motor de forecasting basado en machine learning, capaz de anticipar la demanda de repuestos a partir de datos históricos. Asimismo, se busca evaluar cómo la inclusión de variables externas,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



como indicadores macroeconómicos y del mercado automotriz, puede mejorar la precisión de las predicciones. Finalmente, la herramienta está diseñada para ofrecer visualizaciones claras y alertas prácticas que ayuden a los usuarios a tomar mejores decisiones en la gestión de inventarios.
El documento se organiza de la siguiente manera: en la sección de Metodología y Elementos de Trabajo se describe la arquitectura técnica de la solución y el módulo predictivo. Luego se presenta el Análisis y los Resultados, seguidos de Trabajos Relacionados, en los que se comparan soluciones actuales del mercado. Finalmente, se incluyen las Conclusiones y Trabajos Futuros.

## Metodología y Elementos de Trabajo

En esta sección se presenta la forma en que se organizó el trabajo, las metodologías aplicadas en la gestión y desarrollo del proyecto, la distribución de roles dentro del equipo y la arquitectura de software y lenguajes utilizados para la implementación de la solución.

### 1. Metodología de trabajo

El equipo de investigación está integrado por cuatro miembros, cada uno de ellos cumple uno o varios roles dentro del proyecto. Los roles asignados son los siguientes:

- Analista Funcional (AF)
- Desarrollador Backend (BD)
- Desarrollador Frontend (FD)
- Tester (T)
- Project Manager (PM)

El trabajo se estructuró siguiendo un enfoque híbrido de gestión: la fase de estructuración y análisis se realizó bajo un esquema predictivo, definiendo previamente los objetivos y entregables del proyecto. Para la etapa de diseño, desarrollo e implementación se aplicó la metodología Scrum, organizada en tres releases y con sprints de dos semanas de duración. Este enfoque ágil permitió trabajar de manera incremental, priorizando funcionalidades en un Product Backlog desglosadas en Historias de Usuario para cada sprint, lo que facilitó la adaptación a cambios surgidos durante el proceso.

### 2. Arquitectura de la Solución

En esta sección se detalla la arquitectura general de la solución StockifAI, organizada en bloques modulares que aseguran escalabilidad, mantenibilidad y flexibilidad. La plataforma integra datos estructurados y no estructurados, procesa modelos predictivos y ofrece una experiencia web interactiva, facilitando la gestión inteligente del inventario en talleres y concesionarios. La Figura 1 muestra la arquitectura general de la solución, la cual se compone de tres bloques principales que se describen a continuación:

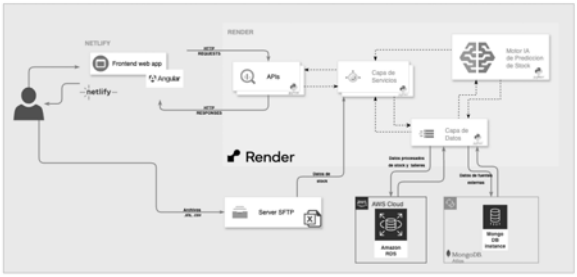



*Figura 1. Diagrama de Arquitectura de StockifAI*

### 2.1. Plataforma de Datos Unificada

El primer bloque del sistema se enfoca en la ingesta, el procesamiento y el almacenamiento de datos de inventario. Dada la diversidad y heterogeneidad de las fuentes de datos, se implementó un proceso de ETL (Extract, Transform, Load) para integrar la información proveniente de los sistemas de gestión de talleres y concesionarios. Este proceso garantiza la limpieza, estandarización y consolidación de los datos antes de su almacenamiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para el almacenamiento, se optó por una combinación de bases de datos relacionales y no relacionales, lo que confiere flexibilidad y escalabilidad al sistema. Se utiliza MySQL para gestionar los datos estructurados, como catálogos de repuestos y niveles de stock. Por su parte, MongoDB se implementa para almacenar datos no estructurados, como registros de proveedores y fuentes externas que no se ajustan a un esquema relacional fijo. Esta integración asegura una visión completa y consistente de la información, y constituye la base sobre la cual operan los módulos de forecasting e inteligencia de inventario.

### 2.2. Módulo de Forecasting e Inteligencia de Inventario

El módulo de forecasting e inteligencia de inventario constituye el núcleo analítico de la plataforma. Fue desarrollado en Python, utilizando técnicas de machine learning y distintos modelos de series temporales para predecir la demanda futura de repuestos. Durante la etapa de pruebas y prototipado se evaluaron diversos enfoques, incluyendo modelos estadísticos como ARIMA y modelos basados en redes neuronales. El análisis comparativo demostró que el algoritmo **XGBoost** (eXtreme Gradient Boosting) ofrecía la mejor combinación de precisión predictiva y eficiencia computacional.

XGBoost es una implementación optimizada de algoritmos de árboles de decisión que construye múltiples árboles de forma secuencial, donde cada nuevo árbol corrige los errores de los anteriores. Esta característica lo convierte en un modelo robusto y preciso para capturar patrones complejos y no lineales en la variabilidad de la demanda de repuestos.

El modelo se entrenó a partir de series temporales de consumo y niveles de stock de un taller, aplicando un esquema de validación temporal. En este enfoque, los datos históricos hasta un cierto período se utilizaron como conjunto de entrenamiento, mientras que las predicciones se contrastaron con los valores reales observados en el período posterior. De esta manera, se evaluó la capacidad del modelo para anticipar la demanda en condiciones similares a las de operación real.

Las salidas del modelo se materializan en predicciones de consumo futuro y recomendaciones de reposición, que permiten optimizar tanto el nivel de stock como la frecuencia de compra. Estos resultados se exponen mediante APIs, que actúan como punto de acceso central para la plataforma y permiten que la información sea consumida de distintas maneras según las necesidades del usuario. De este modo, un encargado de taller puede visualizar alertas inmediatas sobre faltantes críticos, mientras que un gerente puede acceder a reportes más agregados a través de los dashboards interactivos.

Las librerías utilizadas para el procesamiento de datos y el modelado predictivo incluyen Pandas, NumPy y Scikit-learn, que junto con XGBoost conforman el ecosistema de herramientas principales para el desarrollo de este módulo.

### 2.3. Aplicación Web

La interfaz de usuario se implementó como una aplicación web dinámica desarrollada con el framework Angular. Esta capa de presentación se comunica con el backend mediante APIs, lo que permite acceder a la información procesada por el sistema de forma flexible y eficiente.

Su principal función es ofrecer dashboards interactivos que visualizan indicadores clave de rendimiento (KPIs), junto con un sistema de alertas que notifican a los usuarios sobre faltantes críticos o excesos de stock. Además, incorpora funcionalidades de carga de archivos y consultas dinámicas, facilitando la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



integración con los procesos cotidianos de gestión de inventario.

La visualización de los resultados del forecasting y las recomendaciones de compra se presenta de manera clara e intuitiva, lo que permite a los usuarios tomar decisiones estratégicas y a los gerentes de inventario anticiparse a los problemas en lugar de reaccionar tardíamente.

**Análisis y Resultados**

El análisis de los resultados tuvo como objetivo evaluar la capacidad del modelo propuesto para predecir la demanda de repuestos automotrices a partir de datos históricos. La validación se llevó a cabo sobre el segmento de alta frecuencia de consumo, ya que este proporciona un volumen suficiente de datos para entrenar de manera robusta los modelos de predicción. La evaluación contempló dos escenarios: un modelo base construido únicamente con variables endógenas (inventarios y consumos), y un modelo enriquecido con la inclusión de variables exógenas (como factores macroeconómicos y estacionales). Es importante señalar que los resultados aquí presentados son preliminares, ya que el trabajo permanece en curso, y se espera profundizar en los experimentos y análisis en futuras fases del proyecto.

**1. Rendimiento Global y Validación del Modelo Base**

Para evaluar la calidad de las predicciones del modelo de forecasting, se emplearon dos métricas: el Error Medio Absoluto (MAE) y la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).

El MAE mide la desviación promedio entre los valores reales y las predicciones, expresada en las mismas unidades que la variable analizada. De este modo, permite interpretar de manera directa cuánto se equivoca el modelo, en promedio, al estimar la demanda de un repuesto.

El RMSE, en cambio, además de reflejar el error promedio, penaliza con mayor intensidad las desviaciones grandes. Esto lo convierte en una métrica más sensible a errores puntuales de gran magnitud, que podrían tener un impacto crítico en la gestión del inventario.

De esta manera, el MAE ofrece una medida clara e intuitiva del error promedio esperado, mientras que el RMSE aporta una visión complementaria sobre la presencia y magnitud de errores significativos. Juntas, permiten validar la robustez del modelo y evaluar su aplicabilidad práctica en la toma de decisiones de inventario.

Los resultados demuestran que, incluso sin la inclusión de datos externos, el modelo ofrece un nivel de precisión adecuado para apoyar la gestión de inventarios. Con variables endógenas únicamente, se obtuvo un MAE de 1.25 y un RMSE de 2.89. Esto significa que, en promedio, las predicciones se desvían en poco más de una unidad respecto de los valores reales, lo cual representa una mejora significativa frente a enfoques más simples y constituye un aporte valioso para una planificación de stock más precisa. El valor del RMSE, más alto que el MAE, refleja la presencia de algunos errores de mayor magnitud, pero en niveles controlados, lo que confirma la robustez del modelo y su capacidad de minimizar desvíos críticos. Estos resultados iniciales validan la solidez de la metodología basada en XGBoost y en la ingeniería de características aplicada a los datos históricos.

Además de las métricas globales, se presentan ejemplos puntuales de predicciones en la Tabla 1, que ilustran el desempeño del modelo en repuestos de distinta frecuencia de consumo. Los resultados muestran que, en casos de alta rotación, las predicciones se mantienen muy cercanas a los valores reales, mientras

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que en repuestos de menor rotación los desvíos son algo mayores pero permanecen dentro de márgenes aceptables para la gestión operativa.

| Código de Repuesto | Demanda Real | Demanda Predicha |
|---|---|---|
| NIS7123042 | 92 | 101 |
| 165463AW0J | 8 | 8 |
| 1654630P0J | 8 | 9 |
| 16546ED00J | 8 | 6 |
| 165465RA0A | 8 | 8 |
| 3N3W25RB00 | 8 | 7 |
| 152093920R | 8 | 6 |
| 165465JL1A | 7 | 7 |
| 165465RA0A | 7 | 9 |
| 16546ET00A | 6 | 7 |

*Tabla 1. Casos de prueba con valores predichos y reales*

El gráfico de dispersión entre la Demanda Real y la Predicha (Figura 2) brinda una validación visual del rendimiento del modelo. La línea diagonal representa la situación ideal en la que las predicciones coinciden exactamente con los valores observados. La concentración de los puntos alrededor de esa referencia indica una fuerte correspondencia entre lo estimado y lo real, confirmando que el modelo logra capturar y generalizar los patrones de consumo presentes en los datos históricos.

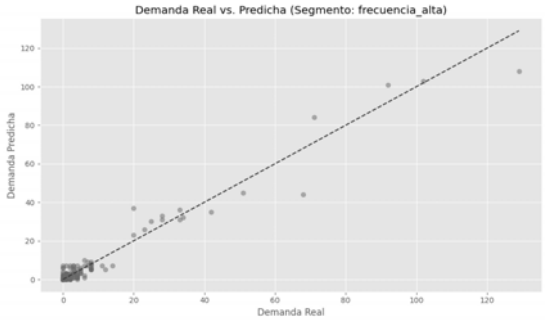



*Figura 2. Demanda real y Predicha*

## 2. Contribución de las Variables Exógenas

A pesar de la solidez inicial del modelo entrenado únicamente con variables endógenas, la principal contribución de este trabajo radica en la mejora alcanzada al incorporar variables exógenas, una práctica poco común en los sistemas de gestión de inventario para talleres y concesionarios en Argentina.

La Tabla 2 resume la comparación del rendimiento del modelo en ambos escenarios:

| Modelo | MAE | RMSE |
|---|---|---|
| Con Variables Exógenas | 1.02 | 2.40 |
| Sin Variables Exógenas | 1.25 | 2.89 |

*Tabla 2. Comparación con y sin variables exógenas*

Los resultados muestran una reducción del 18.4% en el MAE (de 1.25 a 1.02) y una disminución del 16.7% en el RMSE (de 2.89 a 2.40). Esto significa que el modelo no solo logra un error promedio más bajo, sino que también reduce la magnitud de los errores grandes, volviéndose más robusto ante fluctuaciones atípicas de la demanda.

En este trabajo, las variables exógenas incorporadas incluyeron indicadores macroeconómicos y de mercado automotriz tales como:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Índice de Precios del Sector Automotor (IPSA)
- Inscripciones de Prendas
- Tasa de interés de Préstamos
- Tipo de Cambio
- Patentamiento de vehículos
- Inflación

Estos factores aportan información contextual que influye en el comportamiento de la demanda de repuestos, permitiendo al modelo anticipar fluctuaciones que no son detectables únicamente a partir del historial de ventas y stock.

## 3. Análisis de la Importancia de las Características

Para comprender los factores que más influyen en las predicciones del modelo, se realizó un análisis de la importancia de las características, medida a través del gain (ganancia) en XGBoost. Esta métrica refleja el aporte de cada variable a la reducción del error en las divisiones de los árboles de decisión.

El análisis revela que las variables endógenas, derivadas directamente del historial de consumo del taller, son las más determinantes para anticipar la demanda. En particular, la media móvil de las últimas 4 y 12 semanas (media_ultimas_4, media_ultimas_12) y los rezagos de ventas (ventas_t_1, ventas_t_4) se ubicaron entre las más influyentes. Esto confirma que los patrones recientes y de mediano plazo en el consumo constituyen la base principal de la predicción.

Si bien las variables exógenas no se encuentran entre las de mayor ganancia individual, su aporte conjunto resultó clave para mejorar la precisión del modelo. Entre ellas, la Inflación mostró un peso particularmente relevante, evidenciando que las condiciones macroeconómicas también influyen en la dinámica de la demanda. Estas variables funcionan como factores de ajuste, permitiendo al modelo adaptarse a fluctuaciones que no pueden explicarse únicamente con el historial de ventas.

## Discusión

Los resultados obtenidos permiten validar la efectividad del enfoque propuesto y analizar sus implicancias en la predicción de la demanda de repuestos automotrices. En primer lugar, se demostró que incluso un modelo entrenado únicamente con variables endógenas alcanza un nivel de precisión considerable, con un MAE de 1.25 y un RMSE de 2.89. Este desempeño confirma que los patrones históricos de consumo y stock constituyen una base sólida para la predicción.

Además, la inclusión de variables exógenas aportó una mejora sustancial, reduciendo el MAE en un 18.4% y el RMSE en un 16.7%. Esta reducción refleja que factores macroeconómicos y de mercado, como el tipo de cambio, la inflación o los patentamientos de vehículos, inciden de manera significativa en la dinámica de la demanda y deben ser considerados en modelos de gestión de inventario más avanzados.

La robustez del modelo, demostrada por su capacidad para predecir con una desviación promedio cercana a una unidad, se explica por la sólida ingeniería de características y la elección del algoritmo XGBoost. A diferencia de los modelos estadísticos tradicionales que se apoyan en supuestos lineales, XGBoost, al ser un modelo de ensamble basado en árboles de decisión, captura relaciones no lineales y complejas entre las variables. Como se observó en el análisis de importancia, el modelo pondera adecuadamente la información contenida en los rezagos y las medias móviles, confirmando que la demanda futura está fuertemente anclada en el comportamiento histórico. Al mismo tiempo, la incorporación de variables estacionales (mes y semana) evidencia que el modelo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



logra adaptarse a patrones cíclicos de consumo.

Adicionalmente, la incorporación de variables macroeconómicas como el tipo de cambio, la inflación o las tasas de interés abre la posibilidad de explorar escenarios de simulación. Estos escenarios permitirían a especialistas proyectar cómo podría variar la demanda de repuestos bajo condiciones hipotéticas, tales como un incremento abrupto del dólar, una desaceleración inflacionaria o una caída en los patentamientos de vehículos. La simulación brindaría a talleres y concesionarias la capacidad de anticipar decisiones de compra, negociar con proveedores en condiciones más favorables y planificar la reposición de insumos con mayor precisión. De este modo, StockifAI no solo serviría como herramienta predictiva basada en datos históricos, sino también como una plataforma de apoyo a la planificación estratégica mediante análisis prospectivos "what-if", aumentando su utilidad en entornos de alta volatilidad como el argentino.

**Trabajos Relacionados**

La gestión de inventarios ha sido un campo de estudio intensivo en las áreas de investigación de operaciones y logística. Tradicionalmente, los modelos de pronóstico se basaban en métodos estadísticos de series temporales, como los modelos ARIMA y sus variantes. Si bien estos enfoques son efectivos para series estacionarias y con patrones de demanda relativamente estables, presentan limitaciones al enfrentarse a datos con alta variabilidad, intermitencia o influencia de factores externos, características habituales en la demanda de repuestos automotrices.

En la última década, el avance del machine learning ha introducido nuevas soluciones al problema del forecasting. Modelos como el Random Forest, Gradient Boosting Machines (GBM) y, más recientemente, XGBoost han demostrado ser superiores en la captura de relaciones complejas entre múltiples variables (como estacionalidad, promociones y eventos especiales) y la demanda.

La elección de XGBoost en este trabajo se justifica por su reconocida capacidad para manejar datos dispersos y desequilibrados, su eficiencia computacional en comparación con otros algoritmos de ensamble, y su robustez para modelar escenarios no lineales. El aporte diferencial de este proyecto radica en la aplicación de dichas técnicas al sector automotriz argentino, integrando el modelo predictivo dentro de una plataforma completa de gestión de inventarios, lo que trasciende el desarrollo de un modelo aislado y lo convierte en una herramienta de soporte a la toma de decisiones.

**Conclusiones y Trabajos Futuros**

El proyecto **StockifAI** ha logrado establecer una solución tecnológica integral para la optimización del inventario de repuestos en la industria automotriz argentina. La plataforma aborda los desafíos centrales de visibilidad y predicción a través de un enfoque técnico sólido y modular. La principal contribución de este trabajo radica en la exitosa integración de un sistema de gestión de datos unificado con un potente motor de *forecasting* basado en **XGBoost**, un algoritmo que ha demostrado un rendimiento superior en la predicción de la demanda de repuestos. La plataforma aporta así una herramienta práctica que mejora la visibilidad del inventario y facilita la toma de decisiones estratégicas.

Mientras que los modelos de pronóstico tradicionales, e incluso muchos sistemas de software actuales, se basan exclusivamente en el historial de ventas (datos endógenos), nuestro análisis comparativo mostró que la incorporación de información macroeconómica y de mercado redujo el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



error de pronóstico. Esta mejora se traduce en una ganancia tangible en eficiencia operativa, reduciendo costos por stock inmovilizado y disminuyendo faltantes críticos, lo que fortalece la capacidad de servicio al cliente.

A pesar de los logros alcanzados, es importante reconocer las limitaciones del trabajo. La precisión del forecasting depende directamente de la calidad, el volumen y la granularidad de los datos históricos disponibles, lo que restringe la capacidad de generalización del modelo en entornos con información incompleta o poco confiable.

Como líneas de trabajo futuro, se plantea:

- La investigación de modelos más avanzados de aprendizaje automático, como redes neuronales recurrentes (RNNs) o arquitecturas basadas en transformers, para capturar patrones de demanda más complejos y dinámicos.
- La integración en tiempo real con sistemas de la cadena de suministro, lo que permitiría una gestión de inventario más dinámica y adaptable.
- La expansión del alcance de la plataforma hacia otros dominios, como consumibles industriales o productos de retail, lo que permitiría validar la aplicabilidad del modelo de StockifAI en diferentes contextos de negocio.

Esto posiciona a StockifAI no sólo como una solución aplicable hoy en talleres y concesionarias, sino también como una base escalable para evolucionar hacia sistemas de inventario inteligentes en distintos sectores productivos.

**Referencias**

[1]. XGBoost: Official Documentation (2025) https://xgboost.readthedocs.io/en/stable/

[2]. Scikit-learn: Metrics and scoring: quantifying the quality of predictions (2025) https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html

[3]. Forecasting series temporales con XGBoost por Joaquín Amat Rodrigo y Javier Escobar Ortiz (2024) https://cienciadedatos.net/documentos/py56-forecasting-series-temporales-con-xgboost

[4]. Machine Learning Approaches for Retail Forecasting: A Study on XGBoost and Time-Series Models (2024) https://www.techrxiv.org/doi/full/10.36227/techrxiv.172952620.01866729

[5]. Akande, Y.F., Idowu, J., Misra, A., Misra, S., Akande, O.N., Ahuja, R. (2022). Application of XGBoost Algorithm for Sales Forecasting Using Walmart Dataset https://doi.org/10.1007/978-981-19-1111-8_13

[6]. ARIMA: Autoregressive Integrated Moving Average (2025) https://www.geeksforgeeks.org/r-language/model-selection-for-arima/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# BeatSense
# Sistema de Entrenamiento de Percusión Inteligente con Detección de Sonido a partir de Objetos Cotidianos

**Alejo Joan Goltzman, Alvaro De la Cruz, Fernando Martín Besteiro, Ignacio Baptista Orbegozo, Julián Latasa**

**Universidad Tecnológica Nacional**
**Facultad Regional Buenos Aires**

**Abstract**

*Es sabido que el período en donde una persona desarrolla su interés y gusto musical es durante la juventud, por eso es común que muchos estudiantes comienzan a tener hobbies respecto a instrumentos musicales, y en la gran mayoría de casos, este hobbie se convierte en querer aprender a tocar un instrumento. Sin embargo, un porcentaje significativo no logra superar el nivel básico o alcanzar el progreso esperado, debido a una problemática central: la falta de retroalimentación precisa y accesible durante la práctica. Esta limitación dificulta la identificación de errores y el desarrollo de habilidades técnicas, especialmente en instrumentos de percusión, donde la precisión rítmica es fundamental.*

*Este trabajo propone una solución innovadora para brindar feedback casi instantáneo y personalizado durante la práctica, incluso en entornos sin acceso a instrumentos tradicionales.*
*Para ello, se desarrolló BeatSense, una aplicación móvil para Android que, mediante el uso del micrófono del dispositivo, analiza en tiempo real la ejecución del usuario sobre objetos cotidianos (mesas, ollas, etc.), que a través de un algoritmo de procesamiento de señales de audio y machine learning, detecta y analiza los sonidos producidos por el usuario y la compara con patrones rítmicos predefinidos o cargados por el propio usuario.*

*Al finalizar cada ejercicio, la aplicación genera un informe detallado con métricas de precisión y consistencia, permitiendo a la persona identificar áreas de mejora. De este modo, BeatSense busca democratizar el aprendizaje de percusión, facilitando la práctica autónoma, en cualquier momento y lugar, independientemente si posee instrumentos o no.*

**Palabras Clave**

Percusión; práctica musical; feedback en tiempo real; análisis de audio; gamificación; objetos cotidianos; educación musical.

## Introducción

El aprendizaje de instrumentos musicales enfrenta un desafío crítico en la era digital: la falta de retroalimentación inmediata y accesible durante la práctica. En el caso de la percusión, donde la precisión rítmica es esencial, estudios revelan una alta tasa de abandono entre los principiantes durante el primer año. La causa principal suele ser la frustración ante la dificultad de autoevaluarse, lo que, según la Teoría de la Autodeterminación (la cual nos habla de necesidades psicológicas básicas en el aprendizaje)[1], representa un fracaso crítico en satisfacer la necesidad psicológica básica de competencia. Este problema motivacional se agrava por barreras prácticas, como el alto costo de los instrumentos, y la dependencia de una supervisión experta que a menudo puede limitar la autonomía del estudiante al no alinearse con sus intereses musicales. Este conjunto de factores demanda soluciones tecnológicas innovadoras que restauren la motivación autónoma (combinando procesamiento de audio en tiempo real, algoritmos de inteligencia artificial e interfaces intuitivas) para satisfacer estas necesidades psicológicas.

Actualmente, el aprendizaje de percusión enfrenta una paradoja: aunque existen apps educativas (como Yousician o Drum School), estas no analizan ejecuciones en tiempo real, y otro gran porcentaje requiere instrumentos físicos, excluyendo a principiantes sin recursos. Estas herramientas son rígidas, solo poseen librerías predefinidas, o pasivas,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



metrónomos sin retroalimentación, generando una falta evidente que requieren los estudiantes o practicantes a la hora de aprender a tocar su instrumento y generar un hábito a largo plazo para mantenerse enfocados en mejorar.

Frente a estos problemas, con BeatSense se plantean los siguientes objetivos:

**Objetivo General**
Diseñar, implementar y validar un sistema de software que reconozca y evalúe la ejecución rítmica de percusión utilizando sonidos capturados por un micrófono, provenientes de objetos cotidianos.

**Objetivos Específicos**

- Desarrollar algoritmos capaces de detectar el inicio de cada golpe y medir su duración y dinámica.
- Implementar un algoritmo de evaluación rítmica comparando el ritmo ejecutado por el usuario con patrones rítmicos predefinidos, calculando la precisión temporal , la consistencia y el timing relativo.
- Crear una interfaz amigable al usuario que permita una navegación directa a los tipos de ejercicios apropiados para el usuario.
- Validar la precisión del sistema mediante pruebas para comparar la evaluación de BeatSense con la de un experto en percusión.

Este trabajo propone una aplicación Android integrada con Google Play Store que analiza prácticas musicales mediante:

- Detección de golpes en objetos cotidianos usando Hybrid Transformer Demucs[2], un modelo híbrido de separación basado en espectrogramas y formas de onda.
- Comparación con patrones rítmicos de ejercicios predefinidos o archivos de audio.
- Evaluación de precisión, tempo, consistencia rítmica y timing relativo.

Nuestra solución innova al reemplazar hardware costoso con algoritmos optimizados, democratizando el acceso al entrenamiento percusivo. Diversos estudios han identificado consistentemente las barreras socioeconómicas, incluyendo el costo de los instrumentos, como una parte importante del abandono en las prácticas [3]. Por lo tanto, las herramientas tecnológicas como BeatSense son vistas como un componente clave para la expansión de la educación musical, ampliando la participación más allá de los límites económicos tradicionales [4].

BeatSense encuentra su principal aporte es la combinación de personalización y accesibilidad, superando limitaciones económicas de apps actuales. Al permitir que el usuario practique con su propio repertorio de música, la cual fomenta directamente la autonomía del estudiante.
Los sistemas de aprendizaje adaptativo en música han demostrado ser eficaces precisamente porque pueden ajustarse a las preferencias del individuo, aumentando así la motivación del mismo [5].

**Elementos del trabajo de investigación y metodología.**
Durante el desarrollo del proyecto, se especificaron distintos roles para llevar a cabo todas las funcionalidades de la aplicación. Estos roles se describen a continuación:

- Project Manager (PM)
- Product Owner (PO)
- Scrum Master (SM)
- Líder Técnico (LT)
- Desarrollador Frontend (FD)
- Desarrollador Backend (BD)
- Desarrollador DevOps (DDO)
- Especialista en Control de Calidad (QC)
- Usuario Clave (UC)

Se designaron tareas en base a los roles definidos, trabajando en conjunto para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



llevar a cabo los objetivos del proyecto nombrado.
Dado que las aplicaciones de audio en tiempo real presentan desafíos técnicos (latencia, procesamiento de señales), la Metodología Agile permite abordar estos problemas de manera incremental, testeando soluciones en ciclos cortos y ajustando la arquitectura según resultados.

## 1. Definición de los Requerimientos

Para dar comienzo con el proyecto, se identificaron diferentes requerimientos previos a la implementación. Se pueden destacar los siguientes requerimientos

**Aceptación de Términos y Condiciones:** La aplicación debe mostrar y permitir al usuario aceptar los Términos y Condiciones y la Política de Privacidad durante el registro.

**Autenticación con Google:** Permitir a los usuarios iniciar sesión mediante su cuenta de Google, generando un token válido para gestionar la sesión de manera segura.

**Suscripción premium:** Integrar Google Play Billing para permitir compras dentro de la app y desbloquear funciones avanzadas.

**Persistencia de datos de usuario:** Almacenar el progreso, configuraciones y preferencias del usuario para recuperarlos en futuras sesiones.

**Manual de usuario:** Incluir un manual accesible dentro de la app, con ilustraciones y explicaciones claras sobre su funcionamiento.

**Tutorial inicial:** Mostrar un video tutorial en la primera ejecución de la app, guiando al usuario en las funciones básicas.

**Biblioteca de ejercicios:** Ofrecer ejercicios predefinidos categorizados por distintos niveles de dificultad.

**Práctica de ejercicios dentro de la aplicación:** Usar el micrófono del dispositivo para capturar la ejecución del usuario y compararla con el patrón que se mostrará durante cada ejercicio que desee practicar.

**Generación de ejercicios desde archivos de audio:** Permitir cargar un archivo de audio para que el sistema detecte automáticamente los golpes y cree un ejercicio personalizado. El usuario deberá contar con la versión Premium de la aplicación para realizar esta acción.

**Sistema de logros:** Otorgar insignias o recompensas al alcanzar hitos (ej.: "Ritmo perfecto en 10 ejercicios"). [6]

**Interfaz intuitiva:** Diseñar una UI clara y accesible, con navegación sencilla y retroalimentación visual inmediata. [7]

**Entornos de desarrollo y producción:** Mantener ambientes separados para pruebas y despliegue final, evitando afectar a usuarios reales.

### Requerimientos No Funcionales

**Sistema Operativo del Servidor**
La aplicación se desplegará en una instancia de EC2 corriendo con Amazon Linux 2 o versiones posteriores, garantizando compatibilidad, estabilidad y soporte a largo plazo para las dependencias del sistema.

**Infraestructura y Arquitectura de Despliegue**
El despliegue se realizará en una plataforma de cloud computing (AWS), utilizando los siguientes servicios:

- Compute: Instancias EC2 (AWS).
- Almacenamiento: Amazon S3 para guardar archivos de ejercicios.
- Persistencia: Amazon RDS con PostgreSQL. Redis para caché.
- Gestión de código: Control de versiones mediante GitHub con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



integración CI/CD (GitHub Actions) para despliegues automatizados en entornos de desarrollo y producción.

**Usabilidad de la Interfaz de Usuario**
La interfaz de BeatSense poseerá un diseño responsive que funciona en dispositivos móviles de Android y un flujo del usuario intuitivo para reducir la curva de aprendizaje.
**Medidas de Seguridad**
Beatsense usará OAuth 2.0 para el login con Google y tokens JWT con expiración.

**Rendimiento**
Se estima una demora aproximada de un minuto para el análisis de un ejercicio resuelto.

**Escalabilidad**
Se usarán nuevas instancias de EC2 para manejo de picos de demanda, con un balanceador de carga que atienda las peticiones.

**Disponibilidad y Manejo de Errores**
Disponibilidad: Objetivo del 99.5% (SLA), con redundancia en múltiples zonas de disponibilidad (AWS).
Backups: Copias diarias automatizadas de bases de datos y archivos críticos.
Monitoreo:
Herramientas como Prometheus + Grafana para métricas en tiempo real.
Alertas automáticas (Slack/Email) ante caídas o degradación del servicio.

**Base de Datos**
Se utilizará PostgreSQL para información de usuarios, ejercicios y progreso.

**Conexiones a APIs Externas**
La aplicación tendrá una integración con Google Sign-In y Google Play Billing para autenticación y suscripciones.

## 2. Módulos y componentes de la solución.

La solución adopta una arquitectura modular compuesta por cuatro componentes clave: un frontend en Android, un backend basado para gestión de lógica y APIs, un subsistema de persistencia híbrido, y un módulo de IA para procesamiento de audio. Esta estructura garantiza escalabilidad, bajo acoplamiento y especialización funcional, permitiendo la evolución independiente de cada componente mientras mantienen la operabilidad entre los distintos módulos mediante interfaces bien definidas.

**Módulo Frontend**
El frontend de BeatSense fue desarrollado utilizando Jetpack Compose como framework principal para la construcción de interfaces, aprovechando su enfoque declarativo y capacidad de integración nativa con Android. La aplicación soporta dispositivos con API nivel 31 (Android 12) o superior, garantizando compatibilidad con las versiones modernas del sistema operativo mientras se optimiza el rendimiento y la seguridad.

**Módulo Backend**
El backend de BeatSense se implementó utilizando Spring Boot, un framework basado en Java que ofrece una arquitectura robusta para el desarrollo de APIs RESTful y la gestión de lógica de negocio. Esta elección se fundamenta en:

- Escalabilidad: Soporta arquitecturas monolíticas y de microservicios, facilitando el crecimiento progresivo de la aplicación.
- Integración con ecosistemas cloud: Fácil instalación y ejecución en instancias de EC2 (AWS).
- Mantenibilidad: Amplia documentación y comunidad activa, que garantizan soporte a largo plazo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Spring Boot optimiza el desarrollo mediante convenciones sobre configuraciones, reduciendo la complejidad inicial. Su madurez, haber sido lanzado en 2014, y adopción masiva en entornos empresariales validan su uso para BeatSense.

**Módulo de Persistencia de Datos**
Se adoptó un enfoque híbrido combinando:

- PostgreSQL: Base de datos relacional para garantizar ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento, Durabilidad) en el almacenamiento de datos estructurados (usuarios, ejercicios, métricas). Su capacidad de escalamiento vertical/horizontal y soporte para consultas complejas lo hacen ideal para el núcleo de la aplicación. [8]
- Redis: Almacenamiento en memoria para cacheo de sesiones y datos temporales (ej.: grabaciones en procesamiento), mejorando latencia y reduciendo carga sobre PostgreSQL.
- S3: Almacenamiento de archivos para grabaciones temporales y ejercicios.

Estas tres tecnologías forman un sistema escalable que equilibra consistencia, rendimiento y costos, adaptándose a las necesidades cambiantes de la aplicación.

**Módulo de Inteligencia Artificial**
El procesamiento de audio en BeatSense se basa en:

- Separación de fuentes mediante redes neuronales convolucionales: Uso de modelos pre entrenados como lo fueron *htdemucs_ft[9]* y *drumsep[10][11]* para aislar pistas instrumentales (como baterías) de archivos de audio.
- Detección de eventos percusivos analizando cambios abruptos en el contenido espectral a lo largo del tiempo mediante funciones de novedad (como variación en energía o espectro), y aplicando un umbral adaptativo para localizar estos eventos.
- Detección de beats analizando la periodicidad en base a una función de novedad, mediante autocorrelación o aplicación de transformada de Fourier, y estimando la posición de pulsos en base al tempo predominante.

**Integración Modular**
Los componentes se comunican mediante APIs REST (Backend-Frontend) y polling (para AI-Backend). La arquitectura sigue principios de:

Bajo acoplamiento: Cada módulo opera de forma independiente (ej.: el análisis de audio no depende de la capa de persistencia).
Alta cohesión: Funcionalidades agrupadas lógicamente (ej.: PostgreSQL gestiona solo datos estructurados).

En resumen, la arquitectura de BeatSense se define por la interacción especializada de sus cuatro módulos clave: el Frontend declarativo en Android, el Backend robusto en Spring Boot, el Subsistema de Persistencia Híbrido y el Módulo de Inteligencia Artificial para el procesamiento del audio. Esta separación funcional, regida por principios de bajo acoplamiento y alta cohesión, garantiza no sólo la mantenibilidad y escalabilidad del sistema, sino también una gestión optimizada de los flujos de datos a través de interfaces REST y mecanismos de polling. A continuación, se presenta el Diagrama de Arquitectura de la Solución, que muestra gráficamente la disposición de estos componentes, los principales flujos de interacción y la distribución de las tecnologías utilizadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



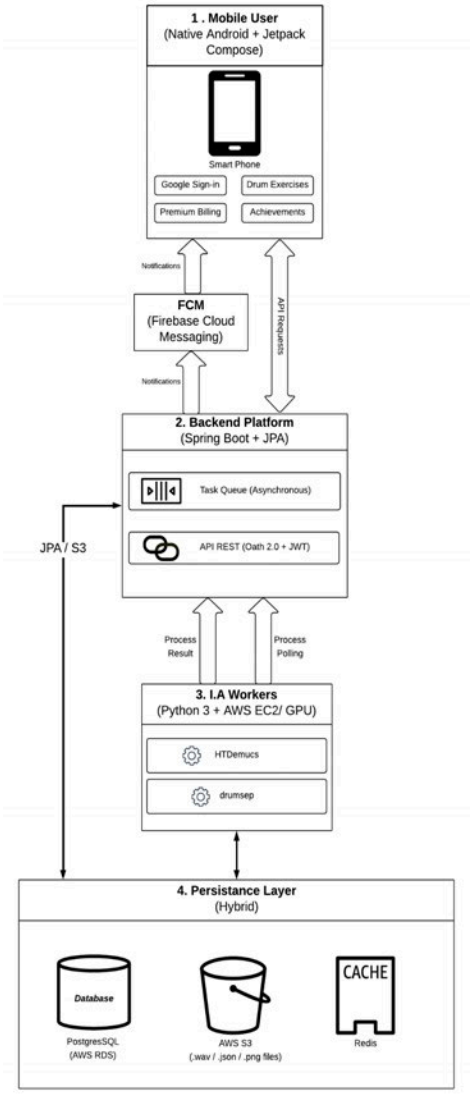



Figura 1: Diagrama de Arquitectura

## 3. Implementación de la Solución

La arquitectura de la solución BeatSense se estructura en tres componentes principales: una aplicación cliente para Android, un backend de servicios centralizado y un sistema de workers asíncronos para el procesamiento de inteligencia artificial.

**Componente Móvil (Frontend)**
La interacción con el usuario se realiza a través de una aplicación nativa para Android, desarrollada para SDK 31 en adelante. La interfaz de usuario se construye utilizando el moderno toolkit Jetpack Compose, que permite un desarrollo declarativo y eficiente. La comunicación con los servicios del backend se establece mediante una API REST.

**Plataforma de Backend**
El núcleo de la lógica de negocio reside en un backend desarrollado con el framework Spring Boot. Para el modelado y la persistencia de las entidades de la base de datos, como perfiles de usuario y ejercicios, se utiliza JPA (Java Persistence API), que abstrae la interacción con la base de datos.

**Capa de Persistencia**
La solución emplea una estrategia de persistencia dual. Los datos estructurados y relacionales se almacenan en una base de datos PostgreSQL gestionada a través del servicio AWS RDS. Para el almacenamiento de archivos y objetos binarios, como los ficheros .json que definen los ejercicios, se utiliza AWS S3.

**Gestión de Contenido de Usuario**
Para mitigar riesgos asociados a los derechos de autor, los archivos de audio (.WAV) subidos por los usuarios y los .JSON generados para sus canciones personalizadas residen principalmente en el dispositivo móvil. Sin embargo, los datos de la ejecución de un ejercicio sí se persisten en S3 para que el backend pueda realizar análisis estadísticos comparativos.

**Procesamiento Asíncrono con Workers**
Las tareas computacionalmente intensivas, como el análisis de audio, son manejadas por un sistema de workers desacoplado. El backend expone una cola de tareas de la cual un número escalable de workers pueden tomar trabajos para procesar, garantizando que la aplicación principal no se bloquee.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Infraestructura de Inteligencia Artificial**
Estos workers se ejecutan en instancias AWS EC2 equipadas con GPU para acelerar el procesamiento de los modelos de IA. El entorno de ejecución está basado en Python 3, que se encarga de orquestar los scripts de los modelos de inteligencia artificial, principalmente HTDemucs para la separación de fuentes musicales y un modelo específico para el reconocimiento de percusión (drumsep).

**Flujo de Procesamiento**
Una vez que un worker finaliza su tarea, notifica al backend a través de un endpoint dedicado. El backend localiza los archivos resultantes en S3 y, para informar al usuario de manera proactiva, utiliza *Firebase Cloud Messaging* para enviar una notificación push al dispositivo. Esto completa el ciclo del proceso, permitiendo al usuario acceder a su nuevo ejercicio.

**Resultados**
El proyecto BeatSense se encuentra actualmente en fase avanzada de desarrollo, con los módulos principales de inteligencia artificial e integración de datos completamente funcionales. En su estado actual, la aplicación permite la autenticación de usuarios a través de Google Play Services y ofrece la funcionalidad clave de generar ejercicios personalizados a partir de archivos de audio subidos por los usuarios con suscripción premium. Paralelamente, se está completando el desarrollo de la biblioteca de ejercicios predefinidos que estarán disponibles en el lanzamiento inicial.

Actualmente, cuando un usuario quiere practicar un ejercicio tiene la opción de dos modalidades: Normal y Experto. El modo Normal permite al usuario practicar el ritmo ofrecido en pantalla con elementos regulares de la vida cotidiana (tales como golpear los dedos contra libros o palillos contra ollas). Por su parte, con el modo Experto se espera que el usuario se encuentre en posesión y practique con una batería completa. En este modo, posterior a finalizar la ejecución, se utiliza un módulo de IA para detectar por cada golpe a cual elemento base de la batería pertenece (Redoblante, Bombo, Toms y Platillos). Esto permite poseer mayor detalle al evaluar el resultado del ejercicio. Al finalizar la ejecución se compara el ritmo esperado con el ejecutado y se calcula por cada golpe si fue exacto, temprano, tardío o incorrecto. De esta forma se obtiene una puntuación de exactitud en la ejecución, que se presenta al usuario y este podrá ver cuando desee en el historial de ejecuciones.

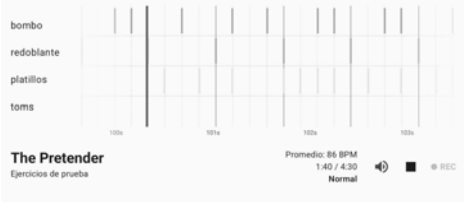



Figura 2: Visualización del usuario al practicar un ejercicio

Además, un usuario puede visualizar estadísticas generales de su cuenta, que se calculan en base a todas sus prácticas realizadas. Entre estas se incluye: el porcentaje de exactitud promedio, el tiempo practicado en el ultimo mes, el ejercicio con el que tuvo mayor exactitud, los ejercicios mas practicados y la precisión promedio por elemento de la batería.

Por último, se está completando el sistema de logros, que motivará al usuario a continuar usando la aplicación mediante metas dentro de la aplicación.

Los resultados de las pruebas realizadas en los dispositivos móviles del equipo demostraron que el sistema logró una correcta detección y análisis patrones rítmicos. Adicionalmente, en pruebas con practicantes de batería, se reportó una experiencia positiva, destacando la precisión del feedback y la utilidad de practicar con canciones propias. Estos resultados validan tanto la correcta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



integración de los componentes del sistema (IA, backend y frontend) como su funcionamiento adecuado en condiciones reales de uso.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Este trabajo de fin de carrera abordó dos desafíos fundamentales en el aprendizaje musical: La dificultad de los jóvenes para acceder a una retroalimentación precisa en la práctica de instrumentos de percusión, y la generación automatizada de ejercicios rítmicos personalizados a partir de fuentes de audio. Mediante el desarrollo de BeatSense, se implementaron algoritmos basados en redes neuronales pre entrenadas, capaces de separar y analizar pistas musicales para crear ejercicios adaptados. Los resultados demostraron que este enfoque no solo resuelve problemas técnicos (como el procesamiento de audio en dispositivos móviles) sino que también genera un valor único al permitir a los usuarios practicar con sus canciones favoritas, aumentando su motivación y compromiso.

La capacidad de analizar canciones, dividirlas en componentes rítmicos y generar ejercicios personalizados establece un nuevo paradigma en el desarrollo de herramientas educativas musicales, democratizando el acceso a un entrenamiento de calidad basado en preferencias individuales.

Sin embargo, si bien los resultados cumplieron con las expectativas iniciales, se identificaron áreas de mejora. Los tiempos de procesamiento pueden ser mejorados realizando una inversión en la infraestructura de procesamiento (instancias con GPU en AWS). Por otro lado, la adaptación a otros sistemas operativos móviles o entornos desktop sigue siendo un desafío pendiente. Como trabajo futuro, se propone optimizar los modelos de IA para continuar mejorando la capacidad de separación de pistas, y también, desarrollar nuevas funcionalidades que amplíen las posibilidades de entrenamiento musical.

En conclusión, este proyecto no solo brinda una solución innovadora a la educación musical sino que también establece un puente entre el arte y la tecnología. BeatSense representa un paso hacia sistemas inteligentes de aprendizaje musical adaptativo, con potencial para seguir evolucionando mediante mejoras en sus algoritmos y la incorporación de nuevas tecnologías de procesamiento de audio.

**Datos de Contacto**

*Alejo Joan Goltzman. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Av. Medrano 951 C1179AAQ. agoltzman@frba.utn.edu.ar.*
*Alvaro de la Cruz. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Av. Medrano 951 C1179AAQ. adelacruz@frba.utn.edu.ar.*
*Fernando Martín Besteiro. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Av. Medrano 951 C1179AAQ. fbesteiro@frba.utn.edu.ar.*
*Ignacio Baptista Orbegozo. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Av. Medrano 951 C1179AAQ. ibaptista@frba.utn.edu.ar.*
*Julián Latasa. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Av. Medrano 951 C1179AAQ. jlatasa@frba.utn.edu.ar.*

**Referencias:**

[1] Who stays? Who goes? Motivation and tendency to drop out in music schools. Martin Wieserm, Verena Novak-Geiger, Florian H. Müller. 2024

[2] Hybrid Transformers for Music Source Separation. Simon Rouard, Francisco Massa, Alexandre Défossez, 2022

[3] Socioeconomic Status and Instrumental Music: What Does the Research Say about the Relationship and Its Implications? Daniel J. Albert. 2006

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[4] A Philosophical Exploration of Music Education and Democratization: How Might Music Education Contribute to the Development of a Diversified Democratic Society? Hyo Jung Jung. 2021

[5] The Role of the Body in Instrumental and Vocal Music Pedagogy: A Dynamical Systems Theory Perspective on the Music Teacher's Bodily Engagement in Teaching and Learning. Melissa Bremmer. 2020

[6] Gamification in MOOCs: A review of the state of the art. Mohammad Khalil, Jacqueline Wong, Björn de Koning, Martin Ebner, Fred Paas. 2018

[7] Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. John Sweller, Jeroen J. G. van Merriënboer & Fred Paas. 2019

[8] Trends and issues in student-facing learning analytics reporting systems research. Robert Bodily, Katrien Verbert. 2017

[9] Repositorio de GitHub: facebookresearch - Demucs. 2019

[10] Repositorio de GitHub: inagoy - Drumsep. 2022

[11] Separación de fuentes en grabaciones de batería mediante aprendizaje automático. Iñaki Goyeneche. 2022

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# TrashUp: Aplicación Móvil basada en Inteligencia Artificial para la Separación de Residuos y la Promoción de Hábitos Sostenibles

**Pulido, Luciano Nicolás - Saccone, Valentina - Salem, Moisés - Sarmiento, Joaquín Esteban**

***Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**

*La gestión de residuos sólidos urbanos representa un desafío ambiental global. Este trabajo presenta TrashUp, una aplicación móvil en desarrollo que utiliza visión por computadora para automatizar la clasificación de residuos en cinco categorías: orgánico, papel/cartón, plástico, metal y vidrio. Utiliza una red neuronal convolucional entrenada para ofrecer clasificación en tiempo real mediante la cámara del dispositivo. Además, incorpora un sistema de concientización y gamificación con métricas, recompensas e información educativa para motivar a los usuarios. Asimismo, permite retroalimentación activa mediante reportes de errores que se integran al entrenamiento del modelo para mejorar continuamente su desempeño. Este enfoque combina inteligencia artificial y participación ciudadana para promover una gestión de residuos más eficiente y sostenible.*

**Palabras Clave**

Aplicación móvil, red neuronal convolucional, reciclaje, economía circular, sostenibilidad, gamificación.

## Introducción

Según el Banco Interamericano de Desarrollo, en América Latina y el Caribe se generan aproximadamente unas 231 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos al año (0,99 kg por persona por día) [1]. Sin embargo, solo el 5 % se recicla frente al promedio mundial del 13,5 % [2]. Esta baja tasa se relaciona con la falta de tecnologías automatizadas para la recolección y clasificación de residuos, lo que genera una alta dependencia de procesos manuales e informales [1].

En ciudades como San Miguel de Tucumán, se percibe claramente la gestión ineficiente de residuos: en 2025 aumentó significativamente la cantidad de vertederos [3], que producen contaminación del aire, suelo y agua, además de riesgos sanitarios [4].

Aunque el reciclaje resultaría una solución clave, muchos ciudadanos desconocen cómo separar los materiales correctamente, lo que reduce la calidad de la separación en origen y provoca que gran parte de los residuos termine en dichos vertederos.

Ante este panorama, surge TrashUp, una aplicación móvil en estado de desarrollo que busca cumplir los siguientes objetivos:

- Simplificar la clasificación de residuos mediante un sistema automatizado que utiliza la cámara del celular para identificar materiales en tiempo real.
- Promover la educación ambiental, ofreciendo información clara sobre el contenedor adecuado, consejos de reutilización y beneficios del reciclaje.
- Fomentar la participación ciudadana, integrando funciones sociales y un sistema de gamificación que recompensa a los usuarios por sus acciones sostenibles.

De esta manera, la aplicación pretende mejorar la separación en origen a través de una experiencia interactiva que combina tecnología, aprendizaje y compromiso comunitario, en pos de contribuir al fortalecimiento de la economía circular.

## Marco teórico

### *Economía circular y reciclaje*

La economía circular se presenta como un modelo alternativo a la economía lineal tradicional. En la actualidad, tenemos una economía en donde extraemos recursos de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Tierra, fabricamos productos con ellos, los utilizamos y finalmente desechamos. Este enfoque promueve la sobreexplotación de recursos naturales finitos, dañando ecosistemas y agotando reservas estratégicas. Además, nos lleva a una producción masiva de residuos, muchos de los cuales terminan en vertederos o incinerados, desaprovechando materiales que podrían ser reincorporados al sistema productivo. [5]

La economía circular erradica estas limitaciones a través de un sistema de reutilización. La circularidad busca mantener los recursos en uso el mayor tiempo posible, maximizando su valor y reduciendo la generación de residuos.

Según la Fundación Ellen MacArthur, se sustenta en tres principios: eliminar residuos y contaminación desde el diseño, mantener productos y materiales en uso, y regenerar los sistemas naturales. [5]

En este marco, el reciclaje representa un componente fundamental. Esta actividad comienza con separar los residuos en contenedores según su tipo. En diferentes regiones se usan diversos colores para representar cada tipo de residuo [6]; los principalmente usados en Latinoamérica se pueden ver en la Figura 1. [7]




**Figura 1:** Colores de contenedores para separar residuos sólidos urbanos [7].

El aporte que esto puede generar depende de una separación adecuada en origen, que permita recuperar materiales de forma más eficiente para reincorporarlos a la economía. Por esta razón, mejorar los sistemas de separación y fomentar la participación ciudadana son estrategias claves para fortalecer la economía circular, permitiendo no solo disminuir la presión sobre los recursos naturales, sino también generar beneficios económicos y sociales vinculados a nuevas cadenas de valor.

***Residuos sólidos urbanos y reciclaje en el contexto local***

En Argentina, según datos del Ministerio de Ambiente de la Nación (2022), cada persona genera aproximadamente 1,15 kg de residuos por día, lo que representa 53 mil toneladas diarias a nivel nacional [8]. Además, las series de tiempo anuales demuestran una tendencia hacia el incremento en la cantidad generada. [9]

La cooperativa Creando Conciencia reveló datos sobre el reciclaje en Argentina en el año 2024. Determinaron que, de los 2200 municipios del país, únicamente el 37 % tiene algún tipo de programa de separación. Esta situación llevó a que únicamente el 6 % de los residuos producidos a nivel nacional sean reciclados. [10]

El resultado de esto es la existencia de 5000 basurales a cielo abierto a lo largo de todo el país, los cuales acumulan 6,6 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, que generan emisiones de 20 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono. [11]

En la provincia de Tucumán la situación es crítica. Durante 2025, en la ciudad de San Miguel de Tucumán, se declaró una ‘Emergencia Sanitaria y Ambiental’ debido a los déficits en la gestión de residuos sólidos urbanos [12]. La cantidad de vertederos registrados aumentó de 341 a 387, lo que refleja la persistencia de problemas en la disposición final de los residuos. Esta situación se agrava por la escasa participación ciudadana en la actividad de separación en origen. [3]

Una encuesta de realización propia a más de 200 habitantes de San Miguel de Tucumán de entre 16 y 65 años, demostró un claro desconocimiento sobre reciclaje. En la misma se les preguntó si habían recibido información de campañas de concientización, a lo que el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



61,4 % contestó que sí. Sin embargo, a pesar de las campañas, el 82,9 % de los ciudadanos confirmaron que no saben cuáles son los contenedores o necesitan indicaciones al momento de reciclar.
Pero lo que más llama la atención es que el 50 % de los encuestados no se siente seguro sobre dónde arrojar sus residuos, incluso después de leer las indicaciones.
A pesar de todo esto, el 98 % de las personas encuestadas consideran que los basurales son un problema para San Miguel de Tucumán y el 97,7 % se preocupa por el medio ambiente y considera que el reciclaje es necesario. Esto demuestra un claro interés, pero evidencia también la falta de medios o educación para aportar a la economía circular. [13]

***El comportamiento social en el reciclaje***

En el artículo de Thomas y Sharp "Understanding the normalisation of recycling behaviour and its implications for other pro-environmental behaviours", publicado en 2013, se realiza un análisis del comportamiento de los ciudadanos británicos con respecto al reciclaje. En este se busca describir cómo se normalizó la actividad del reciclaje en ese país, donde desde hace muchos años lograron altas tasas de reciclaje en materiales como papel o latas.
En él se expone que, a pesar de ello, no todos reciclan. Existen ciertos sectores de la sociedad en donde el reciclaje todavía no es la norma dado que no lo consideran una actividad prioritaria.
Thomas y Sharp dicen que es díficil entender como las personas llegan a convertir el reciclaje en un hábito, pero toman algo como seguro: la visibilidad es un componente fundamental, y cuando perciben que su aporte tiene consecuencias tangibles se incrementa la motivación intrínseca para reciclar.
En el aspecto comunitario, la "presión social" que ejerce el saber que otros reciclan ha tenido un efecto positivo en el comportamiento, dado que se ha demostrado que los grupos donde se ve como una norma, generan motivación en sus integrates para adquirir el hábito.
Además, las herramientas e instalaciones que facilitan el reciclaje han desempeñado un papel importante en la activación de ese efecto normativo. [14]

***Gamificación como generadora de hábitos***

La gamificación, del inglés gamification, es definida como incluir elementos de juego en contextos no lúdicos. Esta técnica se presenta como una herramienta innovadora para fomentar comportamientos sostenibles, y se diferencia de los juegos completos en que no pretende crear un entorno de entretenimiento como tal, sino activar dinámicas de motivación en actividades cotidianas, como por ejemplo el desafío, el logro, la competencia y la cooperación. [15]
La aplicación de gamificación al reciclaje busca aportar en la formación y consolidación de hábitos. Al integrar mecánicas como el cuidado y decoración de un parque o rankings sociales, se pretende transformar una acción percibida como rutinaria o tediosa en una experiencia estimulante que favorezca la repetición del comportamiento.

***Red Neuronal Artificial***

Las Redes de Neuronas Artificiales (RNA) son un modelo matemático simplificado e inspirado en cómo el sistema nervioso procesa la información. Funciona utilizando un número elevado de unidades de procesamiento interconectadas, que parecen versiones abstractas de neuronas.
La distribución de la red se realiza formando capas, cada una de las cuales posee un número determinado de neuronas. Se distinguen:

1. Capa de entrada: recibe la información proveniente de las fuentes externas de la red.

2. Capas Ocultas: son internas y no tienen contacto directo con el entorno exterior.

3. Capa de salida: transfiere información desde la red hacia el exterior.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se dice que una red está totalmente conectada si todas las salidas de un nivel llegan a todos y cada uno de los nodos del siguiente [16].

***Red Neuronal Convolucional***

Las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) son redes neuronales artificiales con aprendizaje supervisado, que procesan sus capas imitando el cortex visual del ojo humano para identificar diversas características de la entrada con la finalidad de reconocer objetos. Uno de los problemas que resuelve y en el que se centra el trabajo es la clasificación de imágenes. [17]
Las CNN funcionan tanto en imágenes 2D como en 3D y están constituidas por tres tipos de capas.

- Capa Convolucional: extrae ciertas características de una imagen al aplicar un filtro (kernel) sobre esta. El kernel es una matriz de números que se utiliza para enfocar, desenfocar, grabar, detectar bordes y características de imágenes.
- Capa de Pooling: es la encargada de reducir el flujo de datos obtenidos de las capas de convolución, extrayendo las características más importantes de la imagen convolucionada. Reduce la carga computacional que va a tener la CNN, ayudando a que entrene y segmente mejor las características, quitando ruido de la imagen. Existen de dos tipos: Max Pooling y Mean Pooling. La arquitectura seleccionada para el trabajo utiliza capas de Max Pooling, que reducen las dimensiones seleccionando el valor máximo en regiones de la imagen.
- Capas densas o capas de clasificación: se encuentran totalmente conectadas y se encargan de calcular la puntuación de cada clase de características extraídas por las capas anteriores, relacionando los datos obtenidos previo al entrenamiento de la red para obtener la clasificación final. [18]

**La solución propuesta: TrashUp**

La solución TrashUp, se estructura en módulos que integran capacidades tecnológicas y sociales con el fin de superar las principales limitaciones identificadas en el marco teórico: la incertidumbre al clasificar residuos y la falta de visibilidad y normalización del hábito de reciclaje. A continuación, se describen cada uno de ellos.

***Red Neuronal y Módulo de Clasificación***

Este módulo constituye el núcleo funcional de TrashUp. Su objetivo es identificar y clasificar de forma automática residuos sólidos urbanos, utilizando imágenes capturadas por la cámara del celular. Mediante una red neuronal convolucional, se determina a qué categoría pertenece un residuo y se indica al usuario el contenedor adecuado para su disposición. Se tienen en cuenta cinco categorías: orgánicos, papel/cartón, plástico, metal y vidrio. Se puede observar en la Figura 2 un prototipo del resultado de una clasificación.




**Figura 2:** Prototipo de resultado de una clasificación.

La red neuronal utiliza como base el mo-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



delo de Resnet-50 para la extracción de características de las imagenes. ResNet-50 es una arquitectura que cuenta con un preentrenamiento mediante el dataset ImageNet. Contiene bloques residuales consistentes en una serie de capas de convolución seguidas de una conexión de salto (skip connection) que añade la entrada inicial a la salida de estas capas. Este método evita problemas como la desaparición del gradiente y facilita el aprendizaje de redes muy profundas [19].

Para la clasificación final se añaden capas totalmente conectadas de 128, 64 y 32 neuronas respectivamente, con función de activación ReLu. Estas cuentan con Dropout de 20 %, una técnica de regularización en redes neuronales que "apaga" aleatoriamente dicho porcentaje de neuronas durante el entrenamiento para prevenir el overfitting.

Finalmente, la capa de salida está formada por seis neuronas, una por categoría. Gracias a la función de activación softmax, la suma de la salida de todas las neuronas es uno, y cada una de ellas indica la probabilidad de que una imagen pertenezca a esa clase. El mayor valor de salida es el elegido por la red como resultado final.

Para entrenar y validar la red se armó un dataset de casi 12000 imágenes propias y extraídas de internet. Estas fueron divididas por categoría y luego en tres conjuntos: entrenamiento, prueba y validación. De esta forma buscamos asegurarnos de no contar con un sub o sobre ajuste de los pesos, haciendo validación cruzada en dos conjuntos diferentes. Plásticos fue dividido en dos categorías diferentes debido a que notamos que ciertos residuos plásticos confundían a la red por la amplia diversidad presente en la clase.

El entrenamiento se realizó únicamente sobre la red totalmente conectada y las últimas cuatro capas de la convolución de Resnet, usando un lerning rate de $0,00001$ para el fine tuning.

En cuanto a resultados, se logró una precisión del 99 % en el conjunto de entrenamiento y 96,7 % en el conjunto de test. Estos valores demuestran una gran capacidad de la red para distinguir las diferentes clases y sientan una base prometedora para futuros avances.

En la matriz de confusión, mostrada en la Figura 3, se puede ver los principales errores de la red. El vidrio es una de las peores categorías, situación dada por la existencia de platos o vasos de metal y plástico que son clasificados como vidrio por la similitud que presentan los materiales en algunas ocasiones.

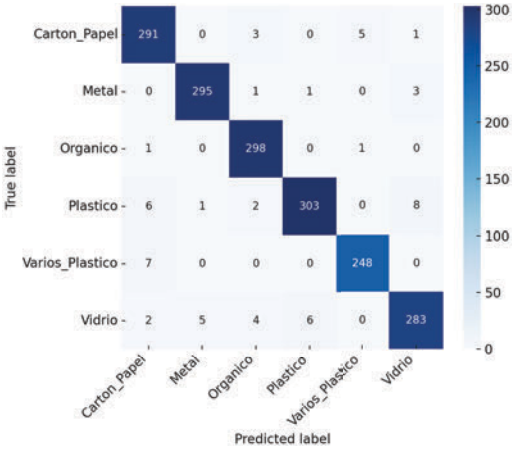



**Figura 3:** Matriz de confusión de la red generada a partir del conjunto de imágenes de test.

La incorporación de esta tecnología busca hacer frente a la problemática de la falta de educación señalada, simplificando el reciclaje al reducir la barrera de incertidumbre sobre cómo hacerlo correctamente. De este modo, TrashUp convertiría un proceso potencialmente confuso en una acción inmediata y accesible, que a su vez se traduciría en una mayor probabilidad de crear el hábito.

***Módulo de Retroalimentación***

El módulo de retroalimentación constituye un puente entre el usuario y la inteligencia artificial, propiciando tanto la mejora continua del sistema como la apropiación social de la herramienta.

Desde la perspectiva técnica, permite que los usuarios reporten casos en los que la clasificación automática no ha sido correcta, como

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



se denota en la Figura 4. Estas imágenes se almacenan y posteriormente se utilizan para mejorar la base de datos de entrenamiento de la red neuronal.




**Figura 4:** Prototipo de reporte luego de una clasificación errónea.

Asimismo, este mecanismo busca contribuir a que los usuarios perciban a TrashUp como una herramienta colaborativa en constante evolución, con lo cual se pretende generar confianza y fomenta un mayor compromiso a largo plazo.

***Módulo de Concientización***

El módulo de concientización es uno de los pilares de TrashUp para lograr el objetivo de promover la educación ambiental. El sistema brinda información educativa sobre cada residuo escaneado, explicando la importancia de reciclarlo correctamente, métodos de reciclaje y su impacto ambiental. Esto se puede observar en la Figura 2.

Además, la aplicación incluye un sistema de métricas vinculado con el módulo de clasificación. Entonces, cada vez que los usuarios realizan un escaneo pueden visualizar en su perfil estadísticas sobre a su hábito de reciclaje, como por ejemplo cantidad total de escaneos y cantidad de retroalimentaciones dadas. Como se estableció previamente, la percepción del efecto de una acción individual constituye un factor clave en la creación de hábitos sostenibles [14]. En este sentido, TrashUp busca convertir cada interacción en una oportunidad de reforzar la motivación mediante datos concretos.

Finalmente, combinando ambos factores, los usuarios reciben recomendaciones personalizadas según sus estadísticas, conectando así la educación brindada tras las clasificaciones con las métricas individuales. Por ejemplo, si un usuario ha clasificado una cantidad suficiente de residuos orgánicos en el último tiempo, se puede recomendar el compost como método de reciclaje. Esto se plasma en la Figura 5.




**Figura 5:** Prototipo de métricas visualizadas como gráficas en el perfil del usuario.

De este modo, el módulo de concientización procura actuar como un mediador entre la acción individual y la construcción de una

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



identidad en torno al reciclaje. No se trata únicamente de informar, sino de vincular a las personas con el acto de separar residuos, mostrándoles su impacto y dando consejos específicos derivados de sus propias acciones.

***Módulo Social***

El módulo social constituye el eje comunitario de la aplicación, ya que permite a los usuarios conformar grupos, ver estadísticas y participar en rankings colectivos. Su propósito es trasladar el reciclaje desde el plano estrictamente individual hacia un escenario de comunidad, donde la acción adquiera un significado compartido.

Cada grupo cuenta con sus propias métricas (Figura 6), donde los usuarios pueden ver el aporte de la comunidad, destacando como el trabajo en equipo tiene un impacto positivo en el planeta.




**Figura 6:** Prototipo de métricas visualizadas como gráficas en el perfil del usuario.

La posibilidad de unirse a grupos familiares, escolares o comunitarios fortalecería una presión social positiva. Además, la inclusión de rankings, tanto diarios como mensuales y totales, propone introducir un componente de gamificación que estimule la cooperación y la competencia sana, dos de los mecanismos que resultan más efectivos para sostener la motivación en el tiempo.[14][15]

Es así que el módulo social busca visibilizar los logros colectivos y crear un sentido de pertenencia, contribuyendo a que el reciclaje deje de ser una acción aislada para convertirse en parte de la identidad comunitaria.

***Módulo de Gamificación***

El módulo de gamificación introduce un entorno lúdico. Cada vez que un usuario clasifica un residuo, recibe monedas virtuales que puede utilizar para decorar un parque digital propio, que se puede observar en el prototipo de la figura 7. Este parque funciona como un reflejo simbólico de su esfuerzo ambiental, ya que con el tiempo lo puede transformar en un espacio lleno de vida gracias a sus acciones sostenibles.

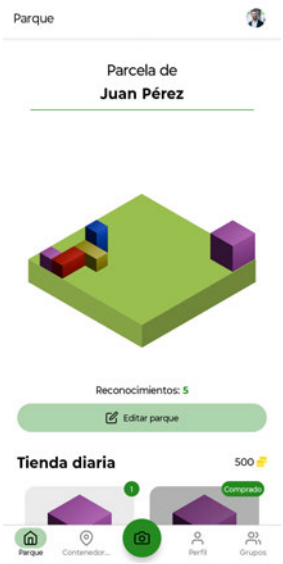



**Figura 7:** Prototipo de parcela de un usuario junto a la tienda diaria.

Contiene una tienda virtual que se actualiza diariamente con cuatro elementos aleatorios. Esta dinámica busca incentivar la recurrencia en el uso de la aplicación, ya que el usuario

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



debe regresar cada día para descubrir nuevos objetos decorativos y avanzar en la construcción de su parque. El usuario puede colocar las decoraciones compradas a su gusto, pero se irá generando basura si no realiza escaneos de residuos en más de dos días.
Esto también incorpora una dimensión social: los usuarios pueden compartir imágenes de sus parques en redes sociales y visitar los de sus compañeros de grupos dentro de la aplicación, intentando así aumentar la visibilidad social del reciclaje.

**Impacto y contribución al contexto global**
El desarrollo de TrashUp se inserta en un escenario donde la gestión de residuos representa uno de los mayores desafíos ambientales y sociales del siglo XXI. En ese marco, la aplicación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, especialmente con el ODS 11 (ciudades sostenibles) y el ODS 12 (producción y consumo responsables), al promover la separación de residuos y la educación ambiental desde una lógica participativa. Estos objetivos buscan transformar la manera en que producimos, consumimos y gestionamos los materiales, promoviendo una transición hacia modelos de economía circular.
TrashUp intenta contribuir con un aporte concreto, no como solución aislada, sino como un eslabón más dentro del esfuerzo colectivo que implica el cuidado del planeta.
Más allá del aspecto tecnológico, el impacto que aspiramos generar con TrashUp radica en su capacidad de hacer visible la acción individual y colectiva, transformando hábitos cotidianos en prácticas ambientalmente responsables. Así, se articularía con iniciativas globales que reconocen que el cambio solo es posible cuando se integra la innovación con la participación activa de las personas.

**Trabajos Relacionados**
La aplicación de la inteligencia artificial (IA) en la gestión de residuos ha sido objeto de creciente interés e investigación. En este contexto, el artículo de Sustainability (2022) “Waste Classification for Sustainable Development Using Image Recognition with Deep Learning Neural Network Models”, destaca el potencial de la IA en la clasificación automatizada (con precisiones de hasta el 99,95 %). Por otro lado, la investigación de Bobulski y Kubanek (2021), “Deep Learning for Plastic Waste Classification System”, se centra en el desarrollo de un sistema de clasificación automático basado en aprendizaje profundo que utiliza redes neuronales convolucionales, logrando una alta precisión (hasta el 99,92 %) en la segregación de plásticos.
Estos trabajos demuestran los avances prometedores de la IA para la automatización de la clasificación de residuos, sentando un precedente importante para el desarrollo de nuevas tecnologías en este campo.
Asimismo, el presente trabajo toma como base uno previo de investigación. En este se destaca el diseño preliminar de una red neuronal convolucional con la finalidad de clasificar residuos sólidos urbanos. [20]

**Conclusión y Trabajos Futuros**
La gestión de residuos sólidos urbanos es crucial para la salud pública, el uso del suelo y la mitigación del cambio climático. Este proyecto propone una aplicación basada en inteligencia artificial para facilitar la separación de residuos en los hogares, contribuyendo a una economía circular.
TrashUp ofrece una propuesta de valor distintiva frente a las aplicaciones de concientización actuales o los sistemas industriales. No solo permitiría clasificar residuos con inteligencia artificial de forma automática y accesible, sino que transformaría esta tarea en una experiencia educativa y divertida.
Se busca que el usuario aprenda a la vez que participa activamente clasificando residuos, mejorando sus hábitos de reciclaje con las recomendaciones y divirtiéndose al competir con amigos o cuidar su parcela virtual. Todo esto mientras contribuye al cuidado del planeta. Se pretende que mediante la combinación de tecnología, educación ambiental y motivación, se sienten las bases para promo-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ver la creación del hábito y la norma social del reciclaje en Tucumán y Argentina.
Además, TrashUp se proyecta como una solución escalable con dos líneas de trabajo futuras. La primera consiste en la implementación de un mapa de contenedores y puntos verdes, integrado con servicios de mapas para ayudar a los usuarios a localizar infraestructura de reciclaje cercana, facilitando la correcta disposición de residuos y visibilizando la red urbana de reciclaje. La segunda línea se centra en la integración del modelo de IA en basureros inteligentes de separación automática. Estos basureros deberían ser gestionados con instituciones gubernamentales para instalarse en espacios públicos, y clasificarían residuos en tiempo real para reducir errores y costos de recolección.

**Agradecimientos**
Agradecemos a la cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, y a nuestra tutora de tesis, Doc. Ing. Gramajo María Guadalupe, cuya orientación académica, valiosas observaciones y constante apoyo fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

**Referencias**

[1] Germán Sturzenegger y Natalia Espinola. *Apoyando el reciclaje inclusivo en América Latina y el Caribe*. es-ES. Section: Residuos Sólidos. Mar. de 2023. URL: https://blogs.iadb.org/agua/es/apoyando-el-reciclaje-inclusivo-en-america-latina-y-el-caribe/ (visitado 16-08-2025).

[2] Redacción THE FOOD TECH®. *El reciclaje en Latinoamérica: ¿cuál es el panorama actual en la región?* es. Oct. de 2022. URL: https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/el-reciclaje-en-latinoamerica-cual-es-el-panorama-actual-en-la-region/ (visitado 16-08-2025).

[3] Bárbara Nieva. *El municipio registra nuevos basurales a cielo abierto en San Miguel de Tucumán*. es-AR. Portal de Noticias. Mayo de 2025. URL: https://www.lagaceta.com.ar/nota/1084817/politica/municipio-registra-nuevos-basurales-cielo-abierto-san-miguel-tucuman.html (visitado 16-08-2025).

[4] World Health Organization Regional Office for Europe. *Waste and human health: evidence and needs: WHO meeting report 5–6 November 2015: Bonn, Germany*. Technical documents. World Health Organization. Regional Office for Europe, 2015, 33 p.

[5] Ellen Macarthur Foundation. *Introducción a la economía circular*. es. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general (visitado 16-08-2025).

[6] BBVA Comunitations. *Los colores del reciclaje: aprende a reciclar mejor*. es. URL: https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/los-colores-del-reciclaje-aprende-a-reciclar-mejor/ (visitado 16-08-2025).

[7] Equipo editorial InfoMatrix. *Guía para clasificar los residuos según su color de reciclaje*. es. Mayo de 2023. URL: https://ecozap.es/productos-reutilizables/guia-para-clasificar-los-residuos-segun-su-color-de-reciclaje/ (visitado 16-08-2025).

[8] Ecoplas. *NUEVO ÍNDICE DE RECICLADO DE PLÁSTICOS EN ARGENTINA*. es. 2022. URL: https://ecoplas.org.ar/site2020/wp-content/uploads/2023/08/Infografia-Ecoplas-Evento-Guia-Indice-de-reciclado-1.pdf.

[9] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. *Informe del estado del ambiente*. es-AR. Inf. téc. Presidencia de la Nación, 2016, pág. 434. URL: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mayds_informe_estado_ambiente_2016_baja_1_0.pdf (visitado 16-08-2025).

[10] Agencia de Noticias Solidarias. *En Argentina, se recicla sólo el 6% de toda la basura — Agencia de Noticias Solidarias*. es. Section: SERVICIOS. Nov. de 2024. URL: https://ansol.com.ar/argentina-recicla-6-basura/generales/servicios/ (visitado 16-08-2025).

[11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. *Informe del estado del ambiente*. es-AR. Inf. téc. Presidencia de la Nación, 2020, pág. 47. URL: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/residuos.pdf (visitado 16-08-2025).

[12] La Gaceta. *En el Concejo, Rossana Chahla dijo que la Capital estaba en "terapia intensiva" y expuso los lineamientos para 2025*. es-AR. Mar. de 2025. URL: https://www.lagaceta.com.ar/nota/1073080/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



politica/concejo-rossana-chahla-dijo-capital-estaba-terapia-intensiva-expuso-lineamientos-para-2025.html (visitado 16-08-2025).

[13] Valentina Saccone et al. *Encuesta sobre Reciclaje en San Miguel de Tucumán*. es-AR. Mayo de 2025. URL: http://bit.ly/45PovqD.

[14] Christine Thomas y Veronica Sharp. "Understanding the normalisation of recycling behaviour and its implications for other pro-environmental behaviours: A review of social norms and recycling". En: *Resources, Conservation and Recycling*. SI: Resourceful Behaviours 79 (oct. de 2013), págs. 11-20. ISSN: 0921-3449. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.04.010. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913000979 (visitado 17-08-2025).

[15] Sebastian Deterding et al. "From game design elements to gamefulness: defining "gamification"". En: *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*. MindTrek '11. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, sep. de 2011, págs. 9-15. ISBN: 978-1-4503-0816-8. DOI: 10.1145/2181037.2181040. URL: https://doi.org/10.1145/2181037.2181040 (visitado 16-08-2025).

[16] Carmelo Bonilla Carrión. "Redes Convolucionales". es-ES. En: (jun. de 2020). URL: https://hdl.handle.net/11441/115221 (visitado 17-08-2025).

[17] Adriana Cifuentes et al. "Desarrollo de una red neuronal convolucional para reconocer patrones en imágenes". es. En: *Investigación y desarrollo en TIC* 10.2 (jul. de 2019), págs. 7-17. ISSN: 2216-1570. URL: https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identic/article/view/4007 (visitado 17-08-2025).

[18] Federico Lubinus Badillo et al. "Redes neuronales convolucionales: un modelo de Deep Learning en imágenes diagnósticas. Revisión de tema". En: *Revista colombiana de radiología* 32.3 (sep. de 2021), págs. 5591-5599. ISSN: 2590-714X, 0121-2095. DOI: 10.53903/01212095.161. URL: https://rcr.acronline.org/index.php/rcr/article/view/161 (visitado 23-08-2025).

[19] Suvaditya Mukherjee. *The Annotated ResNet-50*. en-US. Publication Title: Towards Data Science. Ago. de 2022. URL: https://towardsdatascience.com/the-annotated-resnet-50-a6c536034758/ (visitado 26-06-2025).

[20] Valentina Saccone y María Belén Terán Nougués. "Inteligencia Artificial aplicada a la separación de residuos solidos urbanos". es-AR. En: *Memorias 12vo. Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información - CoNaIISI 2024*. Accepted: 2025-05-29T22:08:29Z Publication Title: 12° Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CoNaIISI). Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca, mayo de 2025, págs. 1032-1038. ISBN: 978-987-661-530-3. URL: https://riaa-tecno.unca.edu.ar/handle/123456789/1246 (visitado 23-08-2025).

**Datos de Contacto**

*Luciano Nicolás Pulido. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán. Tucumán, Argentina. Luciano.Pulido@alu.frt.utn.edu.ar.*

*Valentina Saccone. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán. Tucumán, Argentina. Valentina.Saccone@alu.frt.utn.edu.ar*

*Moisés Salem. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán. Tucumán, Argentina. Moises.Salem@alu.frt.utn.edu.ar.*

*Joaquín Esteban Sarmiento. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán. Tucumán, Argentina. Joaquin.Sarmiento@alu.frt.utn.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# GeoInsight

Sistema de Análisis Espacial Multivariable

**Darneris Lucía, Jara Diego, Reynoso Facundo, Herrera Luciano, Veggiani Franco**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza***

## Resumen

*GeoInsight es un sistema web orientado a democratizar el análisis espacial multivariable para la planificación territorial en ámbitos públicos y privados. Permite a usuarios expertos y no expertos diseñar modelos propios, combinando capas georreferenciadas, definiendo áreas de influencia y pesos de variables, calculando matrices de influencia y generando salidas como mapas de calor y reportes que apoyan la toma de decisiones.*

*El objetivo principal es reducir la curva de aprendizaje típica de las herramientas SIG tradicionales, ofreciendo un flujo guiado de modelado y una interfaz clara que facilita la accesibilidad a información de alto valor.*

*La arquitectura es moderna y modular: en el frontend, React.js y MapLibre GL para la interfaz y visualización; en el backend, FastAPI expone una API RESTful con SQLAlchemy/GeoAlchemy2; la base de datos es PostgreSQL con PostGIS para persistencia y operaciones geoespaciales. Las tareas de cálculo de matrices se ejecutan de forma asíncrona mediante Celery con Redis como bróker, evitando bloquear la API.*

*La solución se contenariza en tres servicios (UI, API y BD) y se orquesta con Docker Compose, posibilitando un despliegue reproducible y el levantamiento del sistema con un solo comando. La gestión del ciclo de vida del proyecto se realiza con GitHub y ramas de desarrollo, pruebas y producción, favoreciendo la mantenibilidad y la evolución continua del sistema.*

## Palabras clave

Planificación territorial, Análisis espacial, Toma de decisiones, Modelo de planificación, Mapa de calor

## Introducción

La planificación territorial enfrenta crecientes desafíos en un contexto donde la información geográfica cobra un papel central. Entidades gubernamentales y organizaciones urbanas requieren soluciones digitales que permitan visualizar, editar y analizar información espacial para facilitar la gestión de proyectos urbanos y rurales. Sin embargo, muchas de las herramientas existentes presentan barreras tecnológicas, falta de integración o una curva de aprendizaje elevada.

GeoInsight surge como una respuesta a estas necesidades: una plataforma SIG (Sistema de Información Geográfica) pensada para ser intuitiva, potente y modular. El sistema permite la administración de proyectos sobre mapas interactivos, integración de capas georreferenciadas, generación de matrices de influencia y visualización de reportes que consolidan información clave para la planificación. A diferencia de soluciones tradicionales, GeoInsight busca fomentar el trabajo colaborativo entre diversos perfiles de usuario y facilitar el intercambio de información en entornos territoriales complejos.

## Caso de uso

Se expone, a continuación, un caso concreto y simplificado de planificación territorial, en donde se observa cómo un análisis territorial multivariable ayuda a identificar áreas prioritarias para la inversión y la regulación, a fin de incrementar el valor inmobiliario y la calidad de vida en una zona residencial.

El valor territorial está ligado a la calidad del hábitat y la sostenibilidad urbana. Los factores clave para aumentar este valor, que se alinean con los objetivos del Ordenamiento Territorial de Mendoza [1],

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



principalmente son: La Eficiencia Urbana: buscar formas equilibradas y eficientes de ocupación territorial; La Mitigación de Riesgos y Ambiente Sano: Es crucial minimizar la degradación y la vulnerabilidad ante peligros naturales; Y la Conectividad y Accesibilidad: Se debe garantizar que el hábitat adecuado asegure el acceso a las infraestructuras básicas.

Se utilizará una metodología simplificada de sumatoria ponderada de influencias (el cálculo principal utilizado por el sistema), en donde la valoración se basa en la definición de variables, Áreas de Influencia (AI) y una Ponderación (P) que refleja el impacto de la distancia en el valor de la tierra.

Las variables de análisis para el ejemplo se definen a continuación

1. *Proximidad a Infraestructura de Saneamiento (Red Cloacal)*: La dotación de servicios básicos es esencial para el hábitat adecuado y la calidad de vida.

2. *Proximidad a Transporte Público de Alta Capacidad*: Se busca optimizar la organización funcional del territorio y fomentar el desarrollo del transporte público de pasajeros.

3. *Proximidad a Espacios Verdes*: Proteger las áreas de valor ambiental y recreación y garantizar la creación y preservación de los espacios públicos.

4. *Proximidad a Centros de Educación (Escuelas/Universidades)*: Satisfacer los requerimientos y necesidades de la comunidad en materia de equipamiento, incluyendo educación.

5. *Proximidad a Zonas de Alto Riesgo Natural (Riesgo sísmico)*: Prevenir y controlar los impactos producidos por los cambios climáticos y el incremento de las situaciones de riesgos por causas naturales.

Es importante mencionar que se han definido otras no enunciadas explícitamente, como Proximidad a basurales, a redes viales, entre otros.

Se definen las Áreas de influencia y sus respectivas ponderaciones para las variables mencionadas.

| Variable | AI | P | Criterio |
|---|---|---|---|
| Redes cloacales | 0 – 50 m | +15 | La eficiencia en el acceso a infraestructura existente es prioritaria. |
| | > 500 m | -8 | |
| Transporte público | 0 – 300 m | +10 | Distancia que garantiza la accesibilidad efectiva al servicio de transporte |
| Centros de educación | 0 – 200 m | - 5 | Proximidad excesiva: La actividad debe desarrollarse sin ocasionar ruidos, molestias o vibraciones que superen los decibeles permitidos o puedan causar perturbación a los vecinos |
| | 200 - 500 m | +5 | Proximidad que garantiza la accesibilidad efectiva a los servicios urbanos y equipamiento social básico |
| Riesgo sísmico (Epicentros activos) | 0 - 50 m | -20 | Riesgo extremo. Las áreas de peligro deben ser declaradas como no urbanizables. |

El área de influencia para la variable de *Proximidad a Infraestructura de*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Saneamiento (Red Cloacal)* queda como en la *Figura 1* presentada a continuación.



Figura 1.

Para la zona de estudio, el departamento de Godoy Cruz (*Figura 2*), al hacer la sumatoria de las ponderaciones asignadas a las áreas de influencia de las distintas variables geográficas de análisis obtenemos el siguiente mapa de calor (*Figura 3*).

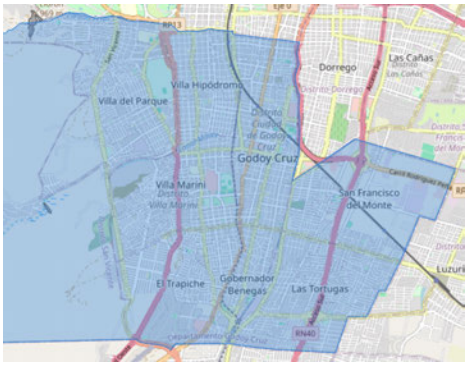



Figura 2.



Figura 3.

Se puede observar en la matriz, que las zonas con colores más cálidos son las más valoradas (respecto a las variables definidas), y por el contrario, los colores más fríos representan las zonas menos valoradas del departamento. En base a este mapa de calor que representa el valor de las tierras en la zona de Godoy Cruz. Se puede obtener una visión integral de cómo estas variables impactan sobre las tierras y, a su vez, se obtiene información para tomar decisiones de infraestructura que pueden mejorar la situación actual.

Las zonas cálidas se concentran en el centro y eje este, asociadas a buena cobertura cloacal, proximidad a transporte público y presencia de equipamientos; también se observan "islas" cálidas cerca de espacios verdes. Las zonas frías se ubican especialmente hacia el sudoeste/pedemonte, donde disminuyen los servicios y la accesibilidad; aparecen además anillos fríos inmediatos a escuelas por molestias, que se revierten en 200–500 m. Con base en estos hallazgos, se podría priorizar cinco líneas de acción: 1. Expansión cloacal en bordes fríos; 2. Refuerzo del transporte para incorporar sectores al buffer troncal; 3. Gestión del entorno escolar para mitigar impactos y orientar usos al anillo 200–500 m; y 4. Creación de micro-espacios verdes en sub-barrios deficitarios; Estos análisis quedan sujetos a usuarios y los conocimientos que estos posean a la hora de realizar el análisis.

## Desarrollo

### Metodología de desarrollo

El desarrollo de GeoInsight se abordó mediante una combinación de las metodologías tradicionales de desarrollo, que siguen un proceso secuencial y estructurado para crear aplicaciones y sistemas, y metodologías ágiles, que brindaron flexibilidad y comunicación del equipo a la hora de desarrollar el sistema.

Primeramente, se llevó a cabo una captura de requerimientos mediante la investigación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de otros sistemas del ámbito de los SIG para observar funcionalidades comunes y mejorables, estableciendo así los objetivos y alcances preliminares del sistema.

Posteriormente, en la fase de diseño del sistema, se definieron específicamente las funcionalidades que el sistema tiene, se llevaron a cabo actividades como la definición de objetivos y alcances definitivos del sistema, la creación de un modelo funcional donde se optó por un enfoque modular, en el cual, cada módulo posee un grupo de casos de uso relacionados y cada caso de uso está descrito mediante historias de usuario, la elaboración de interfaces gráficas, y finalmente el desarrollo del modelo de datos.

A continuación, se describe brevemente cada uno de los módulos funcionales de GeoInsight.

***Módulo de seguridad***

Gestionar el acceso seguro al sistema para evitar accesos no deseados. Así también como los roles que van a tener los usuarios dentro del sistema, esto va a definir las acciones permitidas de los mismos. Este módulo abarca desde el registro de un usuario en el sistema hasta la gestión de usuarios y sus roles en el mismo.

***Módulo de Gestión de Perfil***

Permite a los usuarios del sistema modificar su información personal, que incluye nombre, apellido, correo electrónico, contraseña, país de residencia, provincia y número de teléfono. También permite al usuario eliminar su cuenta del sistema si así lo desea.

***Módulo de Gestión de Proyectos***

Permite la creación, configuración y control de proyectos de análisis espacial. Los usuarios podrán crear un proyecto, siendo dueños del mismo, asignarle un nombre, descripción, e invitar a otros usuarios para que sean partícipes del proyecto, pudiendo también gestionar los roles de estos dentro del proyecto. Además, muestra todos los proyectos al entrar al sistema como se puede observar en la *Figura 4: Pantalla de menú de proyectos disponibles.*



Figura 4.

***Módulo de visualización***

Este módulo abarca las funcionalidades que tienen que ver con la movilidad e interacción dentro del mapa, esto es: hacer o deshacer el zoom sobre el mapa (*Figura 5: Pantalla de mapa principal de proyecto.*), desplazarse sobre el mapa, cambiar su orientación.

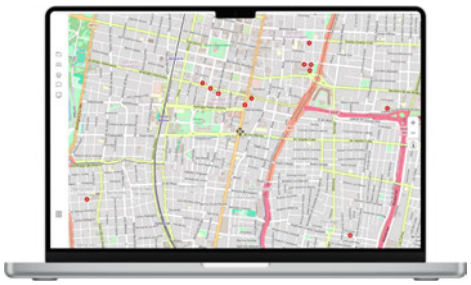


Figura 5.

***Módulo de Gestión de datos geoespaciales***

Centraliza la gestión de variables de análisis, permitiendo crear nuevas variables a partir de archivos con datos georreferenciados (shp files, gpkg, geojson, kmz y kml), administrar Áreas de influencia, Ponderaciones por Área de influencia y por variable, y otros parámetros importantes para el cálculo final

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



del mapa de calor. Se muestra el formulario de carga de archivos en la *Figura 6*.



Figura 6.

***Módulo de Matrices de Influencia***

Permite generar y gestionar parámetros de la grilla espacial donde se calculan los resultados finales, los que se observarán visualmente sobre el mapa como un mapa de calor, tal como puede observarse en la *Figura 7: Pantalla de Matriz de influencias (mapa de calor)*.

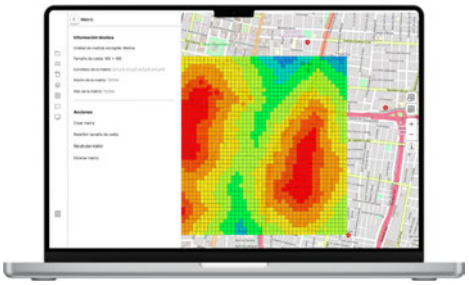


Figura 7

***Módulo de Reportes***

Este módulo consiste en la generación de reportes que contienen datos de un proyecto en particular. Se pueden generar archivos PDF (*Figura 8: Pantalla de reporte PDF generado.*) con una imagen del mapa y datos de variables de análisis, así también un archivo excel con datos técnicos de las variables de análisis y la matriz.



Figura 8.

***Módulo de Administración del sistema***

Permite a un administrador del sistema gestionar parámetros importantes del sistema (*Figura 9: Pantalla de menú de administración del sistema.*), tales como los límites de una matriz, cantidad de variables de análisis permitidas, unidades de medida disponibles, entre otros. Además, permite la gestión de los usuarios registrados en el sistema.

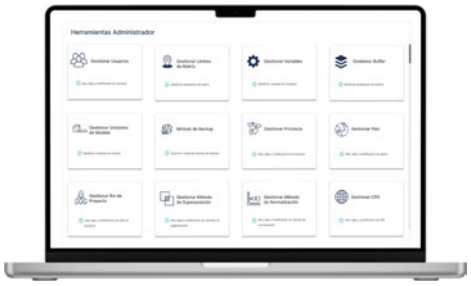


Figura 9

**Tecnologías utilizadas**

El sistema se compone de una API RESTful en FastAPI (Python 3.12) servida con Uvicorn, que se comunica con PostgreSQL (con PostGIS) para la persistencia de datos geométricos. En el backend se emplean SQLAlchemy y GeoAlchemy2 para el mapeo objeto-relacional y el manejo de geometry. El frontend, desarrollado en React.js con Tailwind CSS, integra MapLibre GL para la visualización e interacción cartográfica y se comunica con el servidor vía HTTP. Para tareas pesadas y procesos asíncronos se incorpora Celery orquestando workers, utilizando Redis como message broker y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



backend de cola. Toda la solución se despliega en contenedores Docker (frontend, backend, base de datos, worker de Celery y Redis) orquestados con Docker Compose, lo que asegura modularidad, bajo acoplamiento, escalabilidad y aislamiento. En seguridad, se utiliza Auth0 para autenticación y autorización conforme a estándares modernos.

A continuación, se listan las tecnologías utilizadas en este sistema

- Uvicorn [2] como servidor HTTP
- FastAPI [3] como framework de desarrollo de la API
- Docker [4] como plataforma para la creación, implementación y ejecución de aplicaciones en entornos aislados (contenedores).
- SQLAlchemy [5] como ORM para la interacción con la base de datos
- GeoAlchemy2 [6] como extensión de SQLAlchemy para el manejo de datos espaciales
- Python [7] como lenguaje de programación del backend
- PostgreSQL [8] como base de datos del sistema
- PostGIS [9] como extensión de la base de datos para el manejo de datos *geometry*
- Auth0 [10] como plataforma de autenticación y autorización
- GitHub [11] como plataforma de colaboración, alojado de código y versionado del mismo
- React.js [12] como framework para el desarrollo de la aplicación web
- MapLibre GL [13] como librería para implementar el mapa interactivo
- Visual Studio Code [14] como editor de código
- Figma [15] como plataforma para el diseño de interfaces
- Trello [16] como plataforma de gestión de proyectos para la etapa de Definición de Requerimientos.
- Enterprise Architect [17] como aplicación de modelado de sistemas.
- Google Sheets [18] como diseñador de plantillas para la organización del diseño y desarrollo.
- Celery [19] como tecnología para la tercerización y realización de tareas de altos requerimientos computacionales
- Redis [20] como bróker de mensajes para la comunicación entre la API y los workers.

**Modelos del sistema**

A continuación se presenta el modelo de datos reducido (*Figura 10: Modelo de datos reducido*) y la arquitectura del sistema (*Figura 11: Arquitectura del sistema*).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



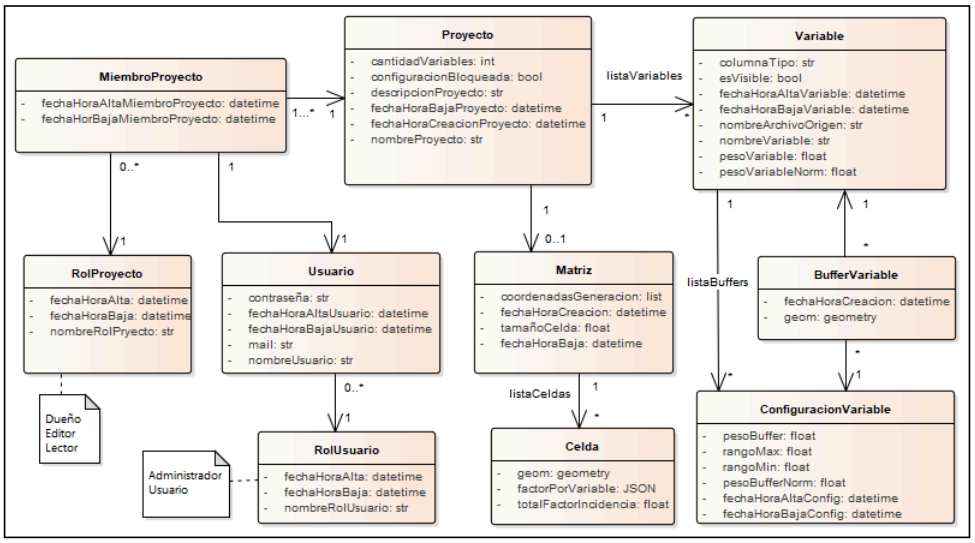



Figura 10.

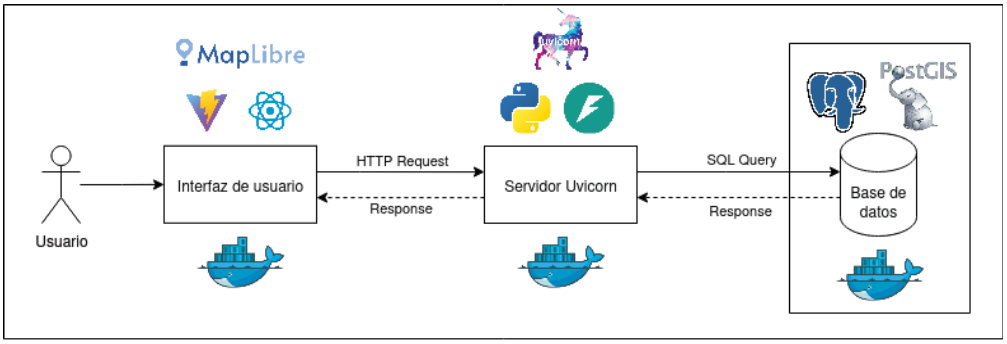



Figura 11.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Resultados**

Los resultados obtenidos al final de este proyecto fueron satisfactorios, se ha logrado el objetivo de crear un sistema que ayuda a las personas de manera directa o indirecta, pudiendo obtener información de suma importancia que sea de utilidad para cumplir los objetivos de una organización (pequeñas y medianas empresas) o de entidades estatales.

A través de un sistema de fácil utilización, cualquier persona puede acceder a la información generada por el mapa de calor en base a los parámetros y preferencias establecidas por el usuario.

**Discusión**

En el desarrollo y despliegue de GeoInsight se han obtenido aprendizajes valiosos que trascienden la implementación técnica. En primer lugar, la comparación con plataformas SIG tradicionales evidenció que, aunque estas ofrecen gran profundidad analítica, adolecen de interfaces complejas que limitan su adopción por parte de usuarios no especializados. GeoInsight, en cambio, demostró que una arquitectura modular y una interfaz web intuitiva reducen significativamente la curva de aprendizaje, permitiendo a planificadores y gestores urbanos concentrarse en el análisis y no en la herramienta.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

GeoInsight consolida un enfoque centrado en la facilidad de uso y la accesibilidad al análisis espacial multivariable, demostrando que un sistema SIG moderno puede ser tanto potente como amigable para usuarios de distintos perfiles.

Su arquitectura modular, implementada con Docker y Docker Compose, facilitó tanto el desarrollo como la implementación del sistema, al permitir que todos los integrantes del equipo dispusiera de los componentes necesarios funcionando en paralelo, de forma rápida y aislada de los equipos personales. El uso de tecnologías modernas fue clave: FastAPI junto a su servidor ASGI (Asynchronous Server Gateway Interface) aportó concurrencia real mediante asincronía y un rendimiento superior frente a otros frameworks; React.js con Vite permitió un modelado de la interfaz basado en componentes reutilizables y la posibilidad de aplicar hot-reload para visualizar los cambios instantáneamente; y PostgreSQL + PostGIS aseguró la persistencia y el procesamiento de datos geoespaciales mediante funciones como ST_Buffer y ST_Intersects, esenciales para el funcionamiento del sistema. Todo esto, sumado a que la solución es web y no requiere altos recursos computacionales en los dispositivos de los usuarios, garantizó un acceso democrático a información geográfica avanzada. Como resultado, el proyecto alcanzó exitosamente la generación de matrices de influencia personalizadas, la visualización interactiva de resultados y la exportación de reportes, todo dentro de un ciclo de desarrollo ágil y bien documentado.

De cara al futuro, GeoInsight sienta las bases para incorporar análisis predictivo mediante inteligencia artificial, optimizar el manejo de grandes volúmenes de datos espaciales y habilitar la ingestión de flujos en tiempo real. Estas extensiones no sólo fortalecerán su valor como herramienta de planificación urbana, sino que también posicionarán al sistema como un referente de innovación en soluciones SIG.

**Referencias Bibliográficas**

[1] *Gobierno de Mendoza. Ley 8051 de Ordenamiento Territorial, Mendoza (2022). Recurperado el 18 de octubre de 2025 de https://www.mendoza.gov.ar/wp-content/uploads/sites/67/2022/09/LEY-8051-Ordenamiento-Territorial.pdf.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[2] *Uvicorn. An ASGI web server, for Python* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.uvicorn.org/.

[3] *FastAPI* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://fastapi.tiangolo.com/.

[4] *Docker: Accelerated Container Application Development* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.docker.com/.

[5] *SQLAlchemy - The Database Toolkit for Python* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.sqlalchemy.org/.

[6] *GeoAlchemy 2* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://geoalchemy-2.readthedocs.io/en/latest/.

[7] *Welcome to Python.org* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.python.org/.

[8] *PostgreSQL: The world's most advanced open source database* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.postgresql.org/.

[9] *PostGIS* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://postgis.net/.

[10] *Auth0: Secure access for everyone. But not just anyone*. (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://auth0.com/.

[11] *GitHub · Build and ship software on a single, collaborative platform* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://github.com/.

[12] *Getting Started | Vite (React.js)* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://vite.dev/guide/.

[13] *MapLibre GL*(s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://maplibre.org/.

[14] *Visual Studio Code - Code Editing. Redefined* (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://code.visualstudio.com/.

[15] Figma | La herramienta de diseño de interfaz colaborativo (s. f.). Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.figma.com/es-la/.

[16] Captura, organiza y aborda tus tareas pendientes en cualquier lugar | Trello (s. f.). Recuperado el 19 de agosto de 2025 de https://trello.com/es.

[17] UML modeling tools for Business, Software, Systems and Architecture | Enterprise Architect (s. f.). Recuperado el 19 de agosto de 2025 de https://sparxsystems.com/.

[18] Hojas de cálculo de Google (s. f.) Recuperado el 19 de agosto de 2025 de https://docs.google.com/spreadsheets.

[19] Celery — Distributed Task Queue (s. f.). Recuperado el 19 de agosto de 2025 de https://docs.celeryq.dev/.

[20] Redis | The Real-Time Data Platform (s. f.). Recuperado el 19 de agosto de 2025 de https://redis.io/.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# "NovaEDU: Sistema Inteligente para el Monitoreo y la Mejora del Desempeño Académico y Socioemocional en Estudiantes de Escuelas Primarias"

**Maria Carolina Boschini, Matias Nahuel Cotens, Mateo Ezequiel Bertogliati, Patricio Galli, Ignacio Ferrante**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Buenos Aires***

**Abstract**
*Las instituciones educativas de nivel primario enfrentan el desafío de realizar un seguimiento integral y personalizado del progreso de sus estudiantes, equilibrando indicadores académicos, sociales y emocionales. La sobrecarga administrativa, la variedad de contextos y la ausencia de herramientas analíticas integradas dificultan una intervención temprana eficaz. Este trabajo presenta NovaEDU, una plataforma inteligente que centraliza datos académicos y socioemocionales, detecta riesgos mediante inteligencia artificial y sugiere acciones pedagógicas personalizadas. Este sistema, basado en microservicios y analítica avanzada, representa un aporte innovador en la gestión escolar, integrando tecnología y enfoque humano para potenciar la educación primaria.*

**Palabras Clave**
Educación, NovaEDU, desempeño académico, escuelas primarias, bienestar emocional, monitoreo escolar.



Figura 1: Imágen ilustrativa del nivel primario

## Introducción

En la actualidad, la etapa primaria afronta el desafío de brindar un seguimiento integral que trascienda el rendimiento académico y abarque el bienestar emocional y social de los estudiantes. Factores como la sobrecarga administrativa de los docentes, la diversidad de contextos familiares y el contexto cambiante limitan la calidad de la experiencia de los alumnos. Esta brecha entre la información disponible y la capacidad de acción plantea una dificultad clave para la ingeniería de sistemas aplicada al ámbito educativo.

La educación primaria constituye una etapa decisiva en el desarrollo cognitivo, emocional y social de los estudiantes. La detección temprana de dificultades de aprendizaje o problemáticas emocionales resulta esencial, ya que la ausencia de intervenciones oportunas puede afectar de forma significativa el progreso escolar y el bienestar integral de los alumnos [1]. En este contexto, el uso de tecnologías emergentes, en particular, la inteligencia artificial, abre nuevas posibilidades para integrar el análisis académico con el monitoreo socioemocional [2], generando una visión holística del estudiante [3].

En consecuencia, el objetivo de este trabajo es diseñar, desarrollar y validar un sistema inteligente que integre datos académicos y socioemocionales para brindar a las instituciones educativas una herramienta de monitoreo y análisis en tiempo real. El sistema busca fortalecer la detección temprana de riesgos, generar alertas preventivas y ofrecer recomendaciones pedagógicas basadas en evidencia, mejorando la capacidad de los educadores para comprender y responder a las necesidades individuales de cada alumno.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Asimismo, NovaEDU propone un enfoque que combina inteligencia artificial, analítica de datos y usabilidad centrada en el usuario, de manera de optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje, favorecer la personalización educativa, involucrar a las familias y promover un entorno escolar inclusivo, motivador y sostenible.

Asimismo, este proyecto se apoya en antecedentes vinculados al uso de tecnologías digitales para el acompañamiento escolar, donde investigaciones previas han demostrado el valor de los sistemas de gestión educativa y plataformas EdTech. Se tomó como referencia el modelo de usabilidad de sistemas educativos propuesto por Alshammari et al. (2015), así como el enfoque de experiencia del usuario aplicado en plataformas como Moodle o Khan Academy.

No obstante, la mayoría de estas soluciones carecen de una integración efectiva entre indicadores académicos y emocionales. NovaEDU busca superar esa brecha, aportando un modelo que combine analítica avanzada, usabilidad y personalización para la educación primaria en Argentina y la región.

Se cuenta con el acompañamiento del Colegio Hugo Midón [14], institución que actuó como sponsor y que aportó la inspiración inicial para la propuesta. A partir de las necesidades expresadas por el colegio en torno a la importancia de contar con herramientas que permitan un seguimiento integral del rendimiento académico y socioemocional, se diseñó NovaEDU como respuesta concreta a esos requerimientos.

En su concepción, NovaEDU se presenta como un sistema unificado que:

- Centraliza datos académicos (calificaciones, asistencias) y socioemocionales (encuestas de bienestar, reportes conductuales) en un panel adaptado al perfil del usuario, diseñado bajo principios de usabilidad importantes en el mercado actual y que priorizan la visibilidad del estado del sistema, correspondencia entre el sistema y el mundo real, y el control por parte del usuario. Este marco lo tomamos siguiendo principalmente los escritos de Nielsen [5].
- Detecta patrones de riesgo mediante IA, considerando variables como bajas sostenidas en el rendimiento, ausentismo o cambios abruptos en indicadores emocionales.
- Propone intervenciones pedagógicas específicas, como tutorías, actividades de refuerzo o estrategias socioemocionales, basadas en evidencia y buenas prácticas documentadas [4].
- Optimiza la evaluación con rúbricas dinámicas alineadas a los objetivos curriculares.

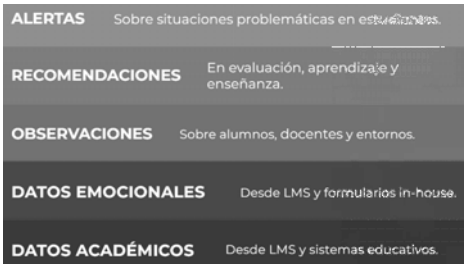



Figura 2: Imágen ilustrativa de los módulos de NovaEDU

Para profundizar en estas necesidades, se llevó a cabo una encuesta a directivos, docentes, alumnos y tutores de instituciones de gestión pública y privada, de los cuales una parte clave del input provino del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



colegio sponsor. Los principales problemas identificados confluyeron con nuestra hipótesis inicial: todavía no se logra una articulación efectiva entre el monitoreo académico y emocional [10], lo que restringe la capacidad de emitir alertas y orientaciones en el tiempo adecuado. La mayoría de los participantes que vislumbran un beneficio en nuestra propuesta proceden de colegios privados, hecho que atribuimos a las complejidades administrativas y presupuestarias propias del sector público [13].

Al analizar el mercado EdTech en América Latina, se detectó una proyección de USD 50.44 mil millones para 2033, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 12.4%. En Argentina, se estima un mercado de USD 5 469,6 millones para 2034 con un CAGR del 16.2% [11] [12].

Si bien existen plataformas como Ticmas, Educatina, Blended y Aurora Educa, ninguna ofrece un abordaje integral que combine seguimiento en tiempo real del estado académico y emocional con sugerencias pedagógicas personalizadas y herramientas de planificación de rúbricas [8].

En su etapa inicial, NovaEDU busca reducir en un 30% los indicadores negativos de bienestar estudiantil y alcanzar una adopción del 75% por parte del cuerpo docente, midiendo su impacto mediante encuestas y registros de uso. La implementación proyectada permitirá a las escuelas optimizar la toma de decisiones pedagógicas, mejorar la motivación estudiantil e involucrar a las familias en el proceso educativo, contribuyendo así a la innovación y eficiencia en la gestión escolar.

El proyecto se desarrolló bajo un enfoque ágil con Scrum, incorporando prácticas de integración y despliegue continuo (CI/CD). Se empleó una arquitectura de microservicios basada en contenedores Docker, lo que garantiza escalabilidad y mantenibilidad. El núcleo de la plataforma integra módulos de inteligencia artificial [9] y analítica de datos que procesan información académica y de bienestar proveniente de diversas fuentes institucionales, transformándola en métricas y visualizaciones accionables para docentes, directivos y tutores.




Figura 3: Imagen ilustrativa de la página de NovaEDU

En cuanto a la tecnología empleada, el sistema utiliza Vertex AI como plataforma para el entrenamiento y despliegue de modelos de aprendizaje automático [9], complementado con una base de datos relacional que asegura flexibilidad y persistencia de la información. La interfaz de usuario fue diseñada bajo principios de accesibilidad y usabilidad, priorizando la claridad en la interpretación de métricas y el acceso rápido a las alertas y recomendaciones emitidas por el sistema.

Para el sistema de predicción de alertas, se definió que el modelo de entrada seguirá el siguiente formato: felicidad, tristeza, miedo, amor, enojo, sorpresa, inasistencias, promedio general y entregas a tiempo [6]. Además, el sistema permite recibir feedback constante de los usuarios que se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



utilizará para mejorar el modelo cuando sea necesario.

Las variables emocionales se obtienen mediante cuestionarios adaptados del *Inventario de Emociones en el Aula* (Pekrun, 2006), validados por docentes y psicopedagogos mediante sesiones de calibración y pruebas piloto en el Colegio Hugo Midón




Figura 4: Imágen ilustrativa del logo de NovaEDU

La plataforma NovaEDU estructura sus funcionalidades en apartados adaptados al rol del usuario, ya sea estudiante, docente, directivo o tutor. Este enfoque permite que cada perfil acceda únicamente a la información y herramientas relevantes para sus responsabilidades, optimizando así la experiencia de uso y la eficiencia operativa.

El diseño funcional se definió a partir de un proceso de *story mapping*, en el que se identificaron necesidades específicas para cada rol, tales como el seguimiento histórico de alumnos, la recepción y gestión de alertas, la recolección y normalización de datos, la emisión de recomendaciones pedagógicas y la administración de recursos institucionales. Esta segmentación asegura que la plataforma brinde un soporte focalizado y contextualizado a cada actor del ecosistema educativo, maximizando su impacto en la gestión escolar y el bienestar estudiantil.

Con NovaEDU se espera aportar una herramienta práctica y escalable que fortalezca la detección temprana de riesgos, mejore los procesos de enseñanza-aprendizaje y promueva el bienestar integral de los estudiantes en el contexto de la educación primaria.

Desde una perspectiva pedagógica, la propuesta se apoya en los principios del aprendizaje significativo (Ausubel, 1963) y el desarrollo socioemocional (Goleman, 1995), integrando estrategias de monitoreo que favorecen la autorregulación y la empatía en el aula.

El sistema considera los aportes de Vygotsky sobre la zona de desarrollo próximo y el aprendizaje mediado, buscando apoyar la labor docente sin reemplazar su rol.

El proyecto contempla la obtención de consentimiento informado y firmado por parte de los padres o tutores legales de los estudiantes, conforme a la Ley 25.326 de Protección de Datos Personales. Ningún registro socioemocional será almacenado ni analizado sin la autorización correspondiente.

**Conclusión**

NovaEDU surge como una respuesta tecnológica y humana a la necesidad urgente de que las instituciones educativas primarias cuenten con herramientas capaces de integrar, analizar y transformar datos académicos y socioemocionales en acciones concretas. La plataforma no solo atiende la brecha existente entre la información disponible y la capacidad real de intervención, sino que también propone un modelo escalable que combina inteligencia artificial, analítica de datos y usabilidad centrada en el usuario para fortalecer la toma de decisiones pedagógicas preventivas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En su fase inicial, NovaEDU apunta a reducir en un 30% los indicadores negativos de bienestar estudiantil y lograr una adopción del 75% entre los docentes, metas que, de cumplirse, tendrían un impacto significativo en la motivación, el rendimiento y la permanencia de los estudiantes. Más allá de las métricas, el verdadero valor del sistema radica en su capacidad para promover una cultura educativa basada en la prevención y en la personalización del acompañamiento escolar [7].

Se prevé el trabajo interdisciplinario con equipos de psicopedagogía y formación docente continua, buscando fortalecer las metodologías participativas y éticas de trabajo con niños en edad escolar.

La relevancia de este trabajo se proyecta no solo en el ámbito educativo, sino también en el campo de la ingeniería de software, al demostrar cómo la arquitectura de microservicios, la integración continua y los modelos de aprendizaje automático pueden aplicarse para resolver problemas sociales complejos. No obstante, el desarrollo enfrenta desafíos asociados a la interoperabilidad con sistemas heredados, la disponibilidad de datos de calidad y la capacitación docente para el uso óptimo de la herramienta.

Con NovaEDU se espera alcanzar resultados tangibles que trascienden la mera conceptualización del sistema. Entre los principales entregables y metas se destacan:

- Prototipo funcional de la plataforma, validado en un entorno controlado.
- Incremento en la tasa de detección temprana de dificultades académicas y emocionales, mediante la consolidación de datos multidimensionales.
- Mejora en la capacidad docente para ofrecer apoyo personalizado, con sugerencias basadas en evidencia. Reducción del estrés y la frustración estudiantil gracias a intervenciones oportunas.

En definitiva, NovaEDU representa un paso hacia una educación primaria más informada, inclusiva y proactiva, donde la tecnología se pone al servicio del bienestar integral de cada estudiante, y donde cada decisión educativa se respalda en evidencia y no en suposiciones [7][10].

**Trabajos Futuros**

Como líneas de trabajo futuro, se plantea la incorporación de análisis predictivo más sofisticado, integración con plataformas de gestión educativa preexistentes y la adaptación de la herramienta para niveles educativos secundarios. Asimismo, se buscará fortalecer el componente de participación familiar mediante canales de comunicación directa y reportes personalizados. Finalmente, se plantea la incorporación de procesamiento de lenguaje natural (NLP) para analizar comentarios abiertos de estudiantes y docentes, así como el reconocimiento automático de patrones en el comportamiento escolar a través de datos multimodales.

**Referencias**

[1] *EdTech Magazine* – Aplicaciones y plataformas digitales utilizadas para chequeos y actividades centradas en el bienestar emocional en entornos escolares. https://edtechmagazine.com/k12/article/2022/11/consider-these-technology-resources-social-emotional-learning

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[2] *Eduporium* – El papel de las soluciones tecnológicas para reforzar experiencias de aprendizaje socioemocional. https://www.eduporium.com/blog/eduporium-weekly-edtech-and-its-place-in-social-emotional-learning

[3] *Flynn, K. S. (2024) – Ventajas de la tecnología para fortalecer el aprendizaje socioemocional en contextos escolares*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773233924000196

[4] *Edtechist.co.uk* – Cómo la tecnología educativa puede fomentar la expresión emocional saludable y el juego cooperativo. https://edtechist.co.uk/social-and-emotional-learning-in-schools-how-can-edtech-help

[5] *Jakob Nielsen (1993)* – Usability Engineering.

[6] *Education Week* – Tendencia creciente de tecnologías que miden, monitorean y modifican emociones y mentalidades de estudiantes. https://www.edweek.org/technology/how-and-why-ed-tech-companies-are-tracking-students-feelings/2018/06

[7] *Boston Consulting Group / World Economic Forum* (2016) – Cómo EdTech puede fomentar habilidades socioemocionales como comunicación y colaboración. https://www.bcg.com/publications/2016/education-public-sector-how-education-technology-can-help-foster-social-emotional-skills

[8] *EdTech Magazine* (2021) – Impacto del uso de dispositivos 1:1 en el aprendizaje colaborativo y socioemocional. https://edtechmagazine.com/k12/article/2021/08/boost-sel-and-collaboration-classroom-11-devices

[9] estudio *arXiv* (2024) – Inteligencia artificial en medición educativa: beneficios, ética y riesgos. https://arxiv.org/abs/2406.18900

[10] *Wikipedia – Aprendizaje socioemocional (SEL)* – Beneficios de SEL, como empatía, mejora del rendimiento académico y reducción de comportamientos agresivos. https://en.wikipedia.org/wiki/Social–emotional_learning

[11] *Endeavor Argentina* – Informe "EdTech: las habilidades del futuro a un solo clic": mapeo de modelos educativos online y relevancia de habilidades socioemocionales en Argentina y la región. https://www.endeavor.org.ar/informe-edtech-las-habilidades-del-futuro-solo-clic

[12] *Ahora Educación* – Crecimiento del mercado EdTech en Argentina: Educaria (suite Alexia) y la adquisición de Acadeu, consolidando plataformas digitales en más de 300 colegios; Argentina concentra el 8 % de las startups EdTech en LAC. https://ahoraeducacion.com/informacion-general/crece-el-mercado-edtech

[13] *Ecosistema Digital* – Impacto de EdTech en la inclusión educativa: tecnologías digitales permiten personalizar el aprendizaje y mejorar el acceso, aunque persiste la brecha digital en zonas rurales. https://ecosistemadigital.blog/el-impacto-de-la-edtech-en-la-inclusion-educativa-en-argentina

[14] *Colegio Hugo Midón* - Sponsor de NovaEDU https://colegiohugomidon.com/index

**Agradecimientos**

Agradecemos al equipo de docentes de la UTN por su colaboración y apoyo técnico durante el desarrollo de este trabajo en la asignatura Proyecto Final, así como a CoNaIISI por brindarnos el espacio para compartir nuestros avances.

**Datos de Contacto:**

Maria Carolina Boschini: mboschini@frba.utn.edu.ar
Matias Nahuel Cotens: mcotens@frba.utn.edu.ar
Mateo Ezequiel Bertogliati: mbertogliati@frba.utn.edu.ar
Patricio Galli: pagalli@frba.utn.edu.ar
Ignacio Ferrante: iferrante@frba.utn.edu.ar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# *AquaVision: Sistema Inteligente de Monitoreo y Predicción de Consumo de Agua en Hogares*

***Evans, Agustin; Quispe Choque, Erik Leandro; Iwassjuk Ourens, Juan Martin; Fernandez, Matias Agustin; Planchuelo, Matías Nicolas***
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Buenos Aires***

**Abstract**

*En la actualidad, la gestión ineficiente del consumo del agua representa un desafío a nivel global, generando una imperiosa necesidad de soluciones precisas que contribuyan a solventar esta problemática. El presente trabajo introduce AquaVision, un sistema inteligente de monitoreo y predicción de consumo de agua para entornos domésticos, diseñado con el objetivo de promover el uso responsable del recurso hídrico y aportar a la sostenibilidad en contextos urbanos. El sistema permite, mediante la aplicación del Internet de las cosas (IoT), obtener datos de consumo en tiempo real para posteriormente generar reportes históricos y anticipar patrones de consumo, brindando a los usuarios información clara y accesible. A su vez, incorpora módulos de alertas, gamificación y eventos personalizados, que fortalecen el compromiso del usuario con el cuidado del recurso. Los resultados obtenidos en pruebas iniciales reflejan la capacidad del sistema para detectar anomalías de consumo y mejorar la conciencia colectiva sobre el uso del agua. Asimismo, se evidenció que la integración de mecanismos de gamificación constituye una herramienta efectiva para generar cambios de comportamiento sostenibles en los usuarios. De esta forma, es evidente que Aquavision se presenta como una solución altamente atractiva, funcional y de gran proyección, siendo aplicable a futuras líneas de trabajo orientadas a la integración con plataformas de Smart Cities y políticas públicas sustentables.*

**Palabras Clave**

IoT, consumo del agua, sostenibilidad, Smart Cities.

## Introducción

El acceso y uso eficiente del agua potable representa uno de los principales desafíos globales del siglo XXI. Según la ONU, más de 2.000 millones de personas carecen de acceso a agua segura, y se proyecta que en 2030 la demanda mundial superará la oferta en un 40% [1]. Esta problemática trasciende lo ambiental y se conecta directamente con la seguridad alimentaria, la salud pública y el desarrollo económico. En contextos urbanos, donde la demanda de agua potable crece aceleradamente, la gestión ineficiente de dicho recurso genera pérdidas económicas, desequilibrios sociales y un impacto ambiental severo. Por ejemplo, puede verse que, sólo en Latinoamérica, entre el 30% y 50% del agua distribuida se pierde por fugas antes de llegar a los hogares [2].

A nivel doméstico, estudios indican que la implementación de medidores inteligentes puede reducir entre 15% y 25% el consumo total de agua [3], lo cual representa un potencial de ahorro significativo en comunidades densamente pobladas, tanto del recurso en sí campismo como en sus costos asociados de consumo. En este marco, los avances en el campo del Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y el análisis de datos se perfilan como herramientas clave para monitorear, analizar y optimizar el consumo hídrico en tiempo real.

Tomando en cuenta esta problemática y la creciente oportunidad de solucionarla mediante las herramientas y tecnologías

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mencionadas previamente, es que surge el proyecto de desarrollo del sistema inteligente de monitoreo y predicción de consumo de agua en hogares: "AquaVision". Esta solución resulta como una propuesta innovadora, dado que además de ofrecer métricas y reportes de consumo detallados al usuario final, también incorpora estrategias de motivación y aprendizaje, mediante la aplicación de gamificación, orientadas a fomentar hábitos medioambientales sostenibles. De este modo, el proyecto se presenta como un puente entre la tecnología y la sostenibilidad, con una proyección hacia su futura integración en ciudades inteligentes, donde el manejo de datos masivos, la interoperabilidad de sistemas y la conciencia ambiental constituyen pilares esenciales para la gestión eficiente de los recursos.

**Trabajos Relacionados**

Diversos estudios recientes han documentado la creciente adopción de tecnologías IoT en la gestión hídrica. Se menciona particularmente a Alahi et al. [4] donde se destaca la efectividad de los dispositivos basados en microcontroladores como Arduino y ESP32 para la medición de caudales y transmisión hacia plataformas en la nube, resaltando su bajo costo y su flexibilidad en entornos de prueba. A su vez, Kumar et al. [5] describen prototipos de bajo costo para hogares que lograron detectar fugas con precisión superior al 90%, lo que evidencia la relevancia de este tipo de soluciones para la reducción de pérdidas de caudales de agua invisibles.

Se enumeran a continuación otros trabajos, también de ámbito internacional, de mayor escala:

- Smart Water Network Forum (SWAN): Red de proyectos europeos para redes de agua inteligentes, con énfasis en interoperabilidad y big data.
- Singapore Smart Water Grid: Implementa sensores distribuidos y algoritmos de predicción para garantizar eficiencia y resiliencia.
- Wattsense: De origen francés. Es una Startup que centraliza datos de medidores de agua, gas y electricidad para edificios inteligentes.

Si bien estos proyectos han demostrado avances significativos, gran parte de los prototipos reportados presentan limitaciones en cuanto a escalabilidad, accesibilidad y facilidad de uso para usuarios no técnicos. En este sentido, AquaVision propone una integración holística que contempla captura, transmisión, visualización, predicción y motivación del usuario en una misma plataforma, diferenciándose por su enfoque integral y su aplicabilidad en contextos domésticos reales.

**Metodología**

El objetivo principal del proyecto fue desarrollar e implementar un sistema que permita a los hogares gestionar su consumo de agua de manera eficiente y sostenible, a través de la combinación de tecnologías de monitoreo en tiempo real y análisis de datos, para proporcionarles así información detallada de sus consumos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Enfoque de gestión y desarrollo del proyecto:

El desarrollo de AquaVision se llevó a cabo siguiendo la metodología ágil SCRUM, bajo los lineamientos del Project Management Institute (PMI) para la gestión integral del proyecto.
Se planificaron iteraciones de trabajo (sprints) con entregas incrementales del sistema, priorizando funcionalidades críticas en cada ciclo: conexión hardware–backend, generación de reportes y visualización de dashboards.
Este enfoque permitió validar resultados de forma temprana y ajustar requerimientos según los hallazgos de cada iteración.

El equipo estuvo conformado por cinco integrantes con roles definidos:

Scrum Master: responsable de la coordinación de sprints y resolución de impedimentos.

Product Manager: encargado de la planificación, priorización y comunicación con la cátedra.

Arquitecto de Sistemas: diseño de la arquitectura técnica y la integración hardware–software.

Analista Funcional / QA: relevamiento de requerimientos y validación de entregables.

Desarrolladores Frontend y Backend: implementación técnica de las funcionalidades.

La planificación y seguimiento se documentaron mediante tableros de control por sprint, Release Plan, Matriz de Roles y Responsabilidades, y Matriz de Riesgos, garantizando trazabilidad y control de calidad en todo el proceso.

En primer lugar, se diseñó un prototipo de hardware que fuera capaz de medir con precisión el flujo y la presión del agua en las tuberías de un hogar, de forma constante y aunque no invasiva. Luego, se definieron los distintos módulos encargados de procesar las mediciones al igual que todos aquellos encargados de generar información valiosa a partir de estos datos como, por ejemplo, reportes, notificaciones, recomendaciones, análisis de datos, entre otros. Finalmente, se desarrolló una interfaz de usuario donde pueda consultarse toda la información generada por el sistema, tanto para administradores como para usuarios finales/hogares.

Requerimientos Funcionales:

- Permitir el monitoreo en tiempo real del consumo hídrico por hogar.
- Generar reportes diarios, históricos y predictivos exportables a PDF/Excel.
- Detectar y alertar consumos anómalos o desconexiones de sensores.
- Incluir un módulo de gamificación con trivias, logros y recompensas.
- Gestionar usuarios, hogares y dispositivos de forma centralizada.
- Registrar y visualizar eventos relevantes en los gráficos de consumo, indicando su hora, descripción y sector asociado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Requerimientos No Funcionales:

- Fiabilidad: las mediciones de los caudalímetros presentan un margen de error menor al 10%.
- Escalabilidad: el sistema puede procesar lecturas concurrentes de múltiples hogares.
- Seguridad: los datos se transmiten mediante protocolos seguros y autenticación por login. Para el caso de transmisión de datos, se utilizan los protocolos HTTPS y MQTTS para transmisión de datos entre ESP32 y Servidor, SSL para comunicación entre microservicios del backend, y también se utiliza JWT, Hash para contraseñas y esquema de Roles y Permisos para Autenticación.
- Rendimiento: la interfaz web refleja los consumos en tiempo real con una latencia menor a 2 segundos.
- Usabilidad: el sistema posee una interfaz intuitiva, adaptable a distintos dispositivos y niveles técnicos.

Captura, Transmisión y Almacenamiento de Datos:

- Sensores de caudal (caudalímetros) miden el consumo al conectarlos a un fragmento de la infraestructura del agua, en algún sector determinado del hogar, conectados además a microcontroladores ESP32, los cuales procesan y dan formato a las mediciones.
- Mediante la interfaz de comunicación entre los microcontroladores y el sistema, vía protocolos HTTP/MQTT, se envían las diferentes mediciones recolectadas al sistema.
- Se implementan bases de datos distribuidas para el almacenamiento de las mediciones, al igual que la información de los hogares y sus medidores instalados.

Procesamiento de la Información y generación de Alertas:

- El backend es el encargado de generar la información a partir de los datos almacenados, a medida que los usuarios lo soliciten mediante la interfaz de usuario (UI).
- Además, realiza análisis en segundo plano sobre los consumos que se registran, permitiendo así notificar, mediante alertas, a los usuarios ante, por ejemplo: desconexión de un medidor, fugas de agua excesivas, etc.

Con el objetivo de asegurar la calidad y confiabilidad del sistema, se elaboró un Plan de Pruebas alineado con el enfoque iterativo e incremental de desarrollo.
Las pruebas se dividieron en las siguientes categorías:

- Pruebas funcionales: verificaron el correcto funcionamiento de cada historia de usuario (login, reportes, alertas, gamificación).
- Pruebas de integración: aseguraron la correcta comunicación entre los componentes medidor → microcontrolador → backend → frontend.
- Pruebas de regresión: ejecutadas tras cada sprint mediante test unitarios automatizados.
- Pruebas de volumen y concurrencia: simularon múltiples

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



hogares transmitiendo datos simultáneamente.
- Pruebas de rendimiento y usabilidad: validaron tiempos de respuesta y experiencia de usuario.

Durante la validación en entornos controlados, el sistema mostró un desempeño estable, con detección de consumos anómalos en tiempo real y un error promedio de predicción inferior al 15%.
Se prevé la realización de pruebas adicionales en hogares reales para obtener métricas más representativas y validar su desempeño en escenarios de uso prolongado.

Validación y Plan de Pruebas:

Visualización de consumos:

1. Usuario Hogar:

Dispone de un dashboard con el consumo actual diario, el estado de sus sensores, alertas generadas y evolución horaria de su consumo.

Puede generar y exportar Reportes:

- Diarios: Gráficos de proporción de consumo por sector (cocina, baño, jardín), comparaciones de medias y totales, con exportación a PDF/Excel.
- Históricos: Evolución del consumo entre rangos de fechas, gráficos mensuales, y reportes por sector.
- Predictivos: Predicción del consumo del hogar y del costo asociado. Esto se logra mediante la aplicación de algoritmos de regresión, en el análisis de las mediciones, y contemplando además factores externos (clima, día, horario, historial) al igual que el perfil del hogar (departamento, particular, cantidad de integrantes, etc.). Se encuentra aún en desarrollo la posibilidad de robustecer las proyecciones mediante la integración con herramientas de inteligencia artificial como, por ejemplo, redes neuronales recurrentes (RNN, LSTM).




Imagen 1. Ejemplo de pantalla inicial de un usuario hogar.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



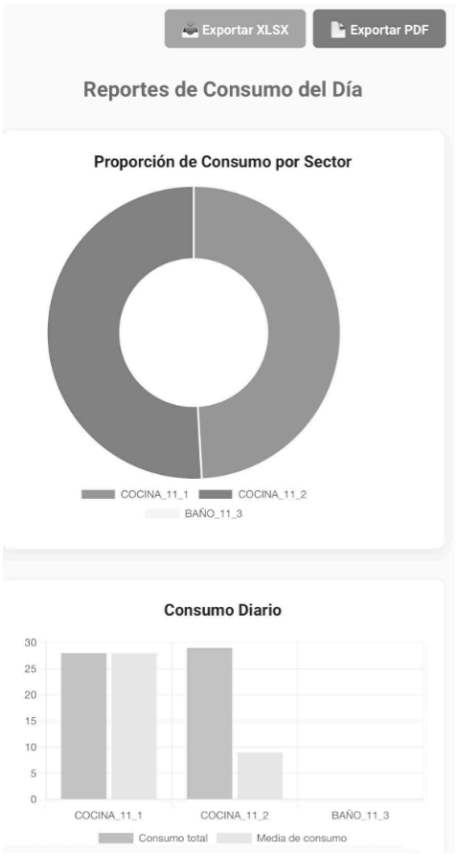



Imagen 2. Ejemplo de pantalla de reportes diarios




Imagen 3. Ejemplo de pantalla de reportes históricos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Imagen 4. Ejemplo de pantalla de predicción de consumos.

2. Usuario Administrador:

Accede a estadísticas globales de todos los usuarios para controlar el estado actual del sistema. Por ejemplo: cantidad de caudalímetros activos, litros consumidos promedio por hogar, trivias respondidas por los usuarios, alertas generadas, entre otras.
Además, puede extraer información de consumo de sus usuarios de forma anónima, a modo de generar reportes para entes gubernamentales o empresas proveedoras del recurso hídrico.




Imagen 5. Ejemplo de pantalla inicial de un usuario administrador.

Gamificación:

- Eventos: Permiten asociar actividades (ej. “baño”, “lavar platos”, etc.) con consumos específicos, para mayor control.
- Trivias: Inspiradas en plataformas como Duolingo, fomentan hábitos sostenibles mediante juegos y competencias entre usuarios.
- Puntuaciones: En base a reducir consumos en el tiempo y responder las trivias, los usuarios pueden ganar puntos para canjear por beneficios, como por ejemplo, descuentos en la adquisición de un medidor. De esta forma se promueve más aún la motivación de los usuarios a controlar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



su consumo y aumentar su conciencia ambiental.

Tabla comparativa de funcionalidades:

| Módulo | Hogar | Admin |
|---|---|---|
| Dashboard inicial | Consumo total diario, estado de sensores, alertas, gráficos horarios. | Información global: cantidad de usuarios, sensores activos, categorías de consumo, trivias contestadas. |
| Reportes | Diario: consumo por sector y proporción, medias, totales. Histórico: evolución por fechas, resumen sectorial, evolución mensual acumulada. (exportables a Pdf/Excel) | Litros consumidos por zona, categorías o fechas. Exportación de datos para análisis institucional /gubernamental. |
| Predicción de Consumo | Estimación personalizada según consumos y perfil | N/A |
| Alertas y Notificaciones | Alertas por consumos anómalos, desconexiones. | N/A |
| Gamificación | Juegos, eventos y desafíos para fomentar el ahorro. | Acceso a métricas de participación y rendimiento de usuarios. |

Gestión de Riesgos y Restricciones:

Durante la planificación del proyecto se identificaron riesgos asociados a la disponibilidad de hardware, complejidad en la integración física entre sensores y backend, y limitaciones para realizar pruebas en entornos reales.
Para mitigar estos riesgos, se aplicaron estrategias basadas en los criterios del PMI:

- Mitigar: diseño modular del sistema para aislar fallas y facilitar reconfiguraciones.
- Transferir: utilización de proveedores confiables de hardware.
- Evitar: planificación temprana de adquisiciones críticas (controladores, sensores).
- Aceptar: demoras potenciales por factores externos, documentadas en el plan de riesgos.

Entre las restricciones principales, se destaca el cumplimiento del cronograma académico, la imposibilidad de implementar el sistema en múltiples hogares debido al costo del hardware, y la limitación en la disponibilidad de datos reales para dashboards de administradores.

**Resultados**

Durante las pruebas iniciales en entornos controlados, AquaVision logró:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Capturar y almacenar datos con precisión en la medición de caudal.
- Facilitar la interpretación de patrones diarios y semanales mediante reportes gráficos.
- Implementar algoritmos de predicción con resultados preliminares positivos (error <15% en consumos simulados).
- Detectar y notificar anomalías como consumos nocturnos atípicos, con potencial de identificar fugas.
- El proyecto permitió aplicar de manera integrada conceptos teóricos de ingeniería de software, incluyendo análisis y diseño de sistemas, gestión de proyectos, control de calidad y gestión de riesgos. La correcta trazabilidad entre requerimientos, arquitectura, implementación y validación evidencia la aplicación práctica de las competencias propias del campo de la ingeniería en sistemas.

Además, se realizaron simulaciones mensuales basadas en consumos de hogares promedio, donde se identificó:

- Reducción estimada de 18% en el consumo mensual gracias a la identificación de picos y consumos elevados innecesarios.
- Potencial de ahorro de hasta 40 litros diarios en un hogar promedio, equivalente a más de 14.000 litros al año. A nivel comunitario (por ejemplo, 100 hogares), la implementación podría ahorrar más de 1,4 millones de litros anuales.

**Discusión**

Gestión y Organización del Proyecto:

El proyecto se estructuró en cuatro fases principales: análisis, diseño, desarrollo e implementación, cada una con entregables específicos versionados y revisados de forma iterativa.
Se emplearon un Release Plan y tableros de control para monitorear avances, mientras que las reuniones semanales de sprint garantizaron comunicación fluida y cumplimiento de plazos.
Toda la documentación fue almacenada en repositorios colaborativos, asegurando trazabilidad y transparencia.
Esta metodología permitió detectar tempranamente desviaciones y favorecer la mejora continua del producto.
Los resultados preliminares sugieren que AquaVision posee un alto potencial para fomentar la conciencia ambiental y reducir el consumo hídrico en hogares mediante información clara y procesable.

Ventajas Ambientales:

- Reducción del consumo en los hogares, disminuyendo la presión sobre acuíferos y sistemas de distribución.
- Identificación temprana de fugas, evitando pérdidas invisibles que representan hasta el 30% del consumo urbano [6].
- Promoción de hábitos sostenibles mediante gamificación y reportes accesibles.

Ventajas Económicas:

- Ahorro monetario en facturación de agua, especialmente en contextos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



donde las tarifas son más altas (ej. regiones de sequía o sin subsidio del estado).
- Reducción de costos para empresas proveedoras de agua, al optimizar infraestructura y minimizar fugas.
- Potencial modelo de negocio para instituciones que deseen explotar datos agregados a nivel comunitario o urbano.

Desafíos Identificados:

- Dependencia de conectividad WiFi al utilizar IoT, lo que limita su aplicación en zonas rurales.
- Usabilidad: Necesidad de manuales de instalación de medidores y soporte técnico accesible.
- Escalabilidad: Pruebas futuras deben contemplar escenarios con miles de usuarios simultáneos.

**Conclusiones y Trabajos Futuros**

AquaVision se consolida como una propuesta innovadora, accesible y con impacto positivo en la sostenibilidad urbana. Su enfoque integral —captura de datos, predicción, reportes, alertas y gamificación— lo diferencia de otros prototipos y lo posiciona como una herramienta con potencial de adopción masiva.

Los hallazgos iniciales muestran que, además de reducir el consumo hídrico, el sistema tiene un valor añadido en la educación ambiental, ya que logra traducir datos técnicos en información comprensible y motivadora para los hogares.

Entre los próximos pasos se plantean:

1. Optimizar modelos de predicción utilizando RNN y LSTM para capturar mejor la dinámica temporal.
2. Integrar fuentes de datos externas (clima, tarifas dinámicas) para enriquecer las predicciones.
3. Explorar nuevas formas de conexión eléctrica, de modo de lograr la autonomía energética de los sensores.
4. Expandir la gamificación a nivel comunitario, con rankings y recompensas colectivas, haciendo aún más atractivo al sistema.
5. Colaborar con proveedores de agua para generar reportes oficiales de impacto ambiental.

En síntesis, AquaVision representa no solo una herramienta de monitoreo, sino una plataforma educativa y transformadora en el uso responsable del agua, con potencial de escalabilidad global.

**Agradecimientos**

Los autores desean expresar su gratitud a las personas y equipos que colaboraron en distintas etapas de este trabajo, desde el intercambio de ideas iniciales hasta la revisión crítica de los resultados. Asimismo, se agradece a la comunidad académica y técnica que, mediante aportes y discusiones, contribuyó a enriquecer el enfoque y la calidad del proyecto.

**Referencias**

[1] Li, X. et al. (2019). Big Data Analytics for Sustainable Water Management. Environmental Modelling & Software.
[2] CEPAL (2020). Gestión de recursos hídricos en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.
[3] Smart water metering and savings report.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[4] Alahi, M.E. et al. (2020). Smart water metering with IoT: A review. IEEE Internet of Things Journal.
[5] ESP32-based real-time monitoring system for smart homes. Sensors Journal.
[6] World Bank (2019). Reducing Non-Revenue Water in Urban Utilities.

**Datos de contacto**

*Evans, Agustin:* aevans@frba.utn.edu.ar
*Quispe Choque, Erik Leandro:* equispechoque@frba.utn.edu.ar
*Iwassjuk Ourens, Juan Martin:* jiwassjuk@frba.utn.edu.ar
*Fernandez, Matias Agustin:* matiafernandez@frba.utn.edu.ar
*Planchuelo, Matías Nicolas:* mplanchuelo@frba.utn.edu.ar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Solución de Calidad y Gestión en la Fabricación de Flejes de Acero: Detección de Defectos en Tiempo Real

**González Juan Ignacio, Vargas Fernandez Juan Pablo, Costanzó Matías Andrés, Bruno Augusto Joaquin, Rodriguez Gabriel**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

La detección de defectos en las superficies metálicas de flejes de acero es un desafío crítico en la industria, dada la diversidad de imperfecciones que pueden surgir y el impacto directo en la calidad y fiabilidad del producto final. Si bien las inspecciones manuales son ineficientes y propensas a errores a medida que aumenta la producción, las soluciones automatizadas existentes suelen ser inaccesibles para pequeñas y medianas empresas debido a su elevado costo y complejidad. En respuesta a esta brecha, proponemos un sistema de bajo costo que integra visión por computadora, análisis de datos y gestión operativa para la detección precisa de defectos superficiales, junto con la optimización de la planificación de órdenes de trabajo, y la trazabilidad completa del producto. La arquitectura modular del sistema combina un backend en Java con Spring Boot, un frontend en React, base de datos MySQL y un módulo de procesamiento de imágenes en tiempo real, respaldado por modelos YOLOv11 y la biblioteca OpenCV. La metodología de trabajo se basa en la gestión por cadena crítica (CCPM), complementada con gestión de riesgos y comunicación estructurada. Utilizando un conjunto de datos creado específicamente, el modelo alcanzó una impresionante exactitud del 99,85%. Este proyecto no solo valida la viabilidad de la inteligencia artificial para resolver problemas industriales complejos con múltiples variables, sino que también destaca su potencial para generar mejoras sustanciales en calidad, eficiencia y toma de decisiones.

**Palabras Clave**

Control de calidad, flejes de acero, visión computacional, optimización de producción, defectos superficiales en acero, inteligencia artificial

## Introducción

En la vanguardia de la producción industrial, la calidad de los materiales es un factor determinante para la competitividad y la sostenibilidad. Particularmente en el sector siderúrgico, la presencia de defectos superficiales en productos como los flejes de acero representa un desafío persistente que compromete no solo la integridad estructural, sino también la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. A pesar de la relevancia crítica de este problema, las inspecciones manuales continúan siendo una práctica extendida, a menudo sujeta a errores y limitaciones inherentes a la intervención humana.

En el contexto específico del sector siderúrgico argentino, las pymes dedicadas a la laminación (reducción del espesor) y corte de rollos de acero en frío se enfrentan a una problemática recurrente: la detección tardía o inexacta de estos defectos. Esta situación no solo genera pérdidas económicas significativas y retrasos en la entrega, sino que también deteriora la relación comercial con los clientes, como lo evidencia un estudio que atribuye aproximadamente el 37% de las quejas totales a defectos en el acero [1]. Ante este escenario, la necesidad de soluciones innovadoras que superen las deficiencias de los métodos tradicionales se vuelve imperativa.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Este proyecto surge de una necesidad palpable en una fábrica de flejes de CABA, que actualmente enfrenta desafíos significativos en su control de calidad y planificación de producción. La inspección visual manual y el registro manuscrito de datos, sumados a la falta de automatización en la planificación de órdenes y asignación de maquinaria, resultan en ineficiencias que limitan la optimización de recursos y tiempos de producción. Este contexto real nos proporcionó tanto las imágenes como los requisitos fundamentales, guiando nuestro enfoque hacia el desarrollo de soluciones concretas para estas problemáticas operativas.

Este trabajo propone una solución tecnológica integral que busca transformar el control de calidad en la fabricación de flejes de acero. Integrando la inspección visual automatizada basada en redes neuronales con una gestión centralizada de la producción y la trazabilidad del proceso, nuestro objetivo es reducir drásticamente los defectos no detectados, optimizar la utilización de recursos y garantizar la calidad del producto final.

A lo largo de este documento, se detallarán en el apartado “Trabajos relacionados” los antecedentes relevantes del proyecto. Luego, se describirá la arquitectura propuesta, el diseño del sistema y las decisiones tomadas para mejorar su eficacia. Posteriormente, se abordan los resultados obtenidos del entrenamiento del modelo de clasificación. Finalmente, se concluirá con un resumen de los resultados, las implicaciones prácticas y las líneas de investigación futuras.

**Trabajos relacionados**

Actualmente, la mayoría de las empresas aún dependen de métodos manuales para la detección de defectos en productos industriales [2]. Sin embargo, la eficacia de este enfoque suele verse significativamente influenciada por factores subjetivos, como las habilidades técnicas de los trabajadores y las condiciones laborales, lo que resulta en una baja eficiencia.

Con los avances en las tecnologías relacionadas, se han desarrollado ampliamente diversos métodos de ensayos no destructivos para el análisis de materiales, incluyendo ensayos de partículas magnéticas, ensayos de penetración, ensayos de corrientes de Foucault, ensayos ultrasónicos, ensayos de rayos X y otras técnicas de detección de defectos [3-5]. El rápido desarrollo de la tecnología de visión artificial ha impulsado a muchos investigadores a aplicar métodos basados en imágenes para la detección de defectos en materiales [6,7].

Por ejemplo, Song et al. [8] desarrollaron un descriptor de características anti ruido para identificar defectos en flejes laminados en caliente. Además, Seba et al. [9] propusieron un modelo automático no supervisado para la detección de textura de defectos y el método utilizado corrige el valor de entropía sin intervención manual. Sin embargo, estos métodos a menudo se basan en la extracción manual de características, lo que introduce subjetividad en su selección y resulta en una precisión de detección menos satisfactoria. Además, muchos de estos métodos se limitan a la clasificación de defectos o no son capaces de realizar detecciones más complejas. En los últimos años, el campo de la detección de objetos ha experimentado avances significativos gracias al aprendizaje profundo, con la aparición de numerosos modelos destacados que han sido aplicados con éxito en diversas tareas. Entre estos se encuentran las redes de detección de objetos de dos etapas, como Faster R-CNN [10], y las de una etapa, como YOLO y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



SSD. Asimismo, los modelos Transformer han ganado una considerable atención [11].

Un ejemplo es el trabajo de Zhou et al. [12], quienes mejoraron el modelo Fast R-CNN para optimizar la detección de defectos en flejes de acero. Para ello, combinaron un novedoso módulo de agrupación de pirámides espaciales residuales con una red piramidal de características, fortaleciendo así la fusión de características multiescala. Por su parte, Liu et al. [13] propusieron CGTD-Net, una red de doble rama basada en un transformador global de canal. Este modelo integra un transformador Swin al final de la red troncal y una red piramidal de características multicanal para mitigar los efectos negativos de las redes de un solo canal. Además, incorpora un módulo de Atención Global de Canal Espacial (SCGA) para potenciar la extracción de características espaciales y de canal. Otro aporte es el de Zhou et al. [14], quienes desarrollaron CABF-YOLO. Este modelo mejora significativamente la precisión y eficiencia en la detección de defectos en flejes de acero mediante un módulo de atención de coordenadas convolucional triple, una estrategia de fusión bidireccional y una función de pérdida EIoU.

En la detección de defectos metálicos, YOLO ha demostrado ventajas considerables debido a su excepcional velocidad y alta precisión. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos de imágenes en tiempo real lo hace ideal para entornos industriales con altas demandas de rendimiento y exactitud. La estructura de una sola etapa de YOLO simplifica el proceso de detección y reduce el consumo de recursos computacionales, permitiendo un buen rendimiento incluso en entornos con recursos limitados.

En contraste, si bien las redes de dos etapas como Faster R-CNN ofrecen una precisión superior, su compleja estructura y menor velocidad de detección restringen su uso en tareas en tiempo real. Los modelos Transformer, aunque mejoran el rendimiento con estructuras de red más robustas y potentes capacidades de modelado, suelen exigir recursos computacionales y memoria considerables, lo que resulta en tiempos de entrenamiento e inferencia más prolongados, mayor complejidad del modelo y mayores dificultades de implementación y mantenimiento.

Por lo tanto, a pesar del potencial de estas tecnologías emergentes para mejorar la precisión, sus elevados costos computacionales y complejidad presentan limitaciones en aplicaciones prácticas. En este contexto, la rapidez y eficiencia de YOLO lo hacen especialmente adecuado para tareas en tiempo real, como la detección de defectos, consolidándose como una opción importante en aplicaciones industriales.

Es crucial señalar que, aunque los estudios previos evidencian la evolución tecnológica y la efectividad de YOLO, ninguno se ha enfocado en el uso de cámaras de video tradicionales y accesibles para las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) en la detección de defectos superficiales en la detección de flejes de acero.

**Nuestro sistema**

Nuestro sistema está organizado en cuatro capas principales: cliente, aplicación, procesamiento especializado y datos. La arquitectura completa se ilustra en la Figura 1.

La **capa de cliente** gestiona la interacción con el usuario y la presentación de la información. A través del frontend basado en React, los navegadores web obtienen las vistas necesarias para visualizar métricas, acceder a informes y gestionar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



configuraciones de manera intuitiva. Esto permite extender el uso a diversos dispositivos sin necesidad de instalaciones adicionales.

La **capa de aplicación** es responsable de implementar las reglas de negocio y coordinar los procesos del sistema. El sistema de gestión se encarga de las operaciones básicas de la fábrica, incluyendo la creación de órdenes de venta y la gestión de materia prima, productos y usuarios.
Complementariamente, el optimizador de planeación utiliza un algoritmo de computación evolutiva genérico para determinar la secuencia óptima de órdenes de trabajo. Este algoritmo considera la disponibilidad de máquinas, las fechas estimadas de entrega, el desperdicio generado y el rollo a utilizar y su fecha de disponibilidad. El cromosoma del algoritmo se compone de grupos de cuatro genes, donde cada grupo representa el número de orden de venta, el número de rollo a utilizar, la primera máquina a emplear (cortadora o laminadora) y la segunda máquina (si es necesaria), y la secuencia de los grupos determina cómo se debe construir el calendario de planificación.

Este algoritmo genera diversas combinaciones de soluciones mediante la selección, cruce y mutación de los cromosomas (con sus respectivos mecanismos y tasas de aplicación). Cada posible solución (individuo) se evalúa en función de:

- Si genera combinaciones inválidas (por ejemplo, un rollo a usar es de un material distinto al solicitado en la orden de venta).
- La cantidad de desperdicio producido.
- La cantidad de días de finalización antes de la fecha estimada de entrega.

La implementación de esta tecnología no solo reduce significativamente el tiempo invertido en la planificación, sino que también busca asegurar una solución óptima.
La **capa de procesamiento especializado** se encarga del análisis de imágenes y videos para la detección de defectos. El captor de cámaras recibe las transmisiones y define la estrategia de entrega al módulo de defectos, que estandariza los *frames* para el modelo de IA. El detector de defectos, basado en un modelo de aprendizaje automático, evalúa cada *frame* y determina la presencia de posibles defectos. En caso positivo, se genera una alerta al operario y se registra la imagen junto con sus metadatos a través del sistema de gestión.

Finalmente, la **capa de datos** asegura el almacenamiento permanente y el acceso eficiente a toda la información del sistema. Un volumen persistente almacena las imágenes con defectos detectados, mientras que la DB central, implementada en MySQL, gestiona información estructurada como usuarios, métricas e historial del sistema. Todo el conjunto permite un flujo de información coherente y escalable, integrando la interacción del usuario, la planificación de la producción y la detección de defectos en un entorno industrial.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



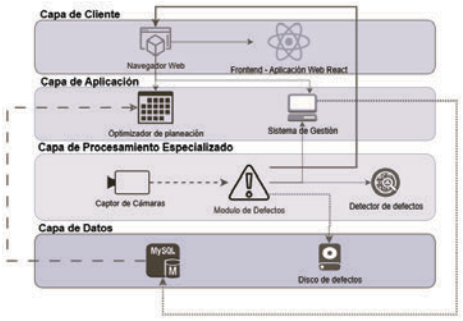



*Figura 1. Modelo de capas y componentes de la solución*

**Pipeline de defectos**

El pipeline de detección se muestra en la Figura 2, donde se puede observar los distintos instrumentos y componentes que forman parte.

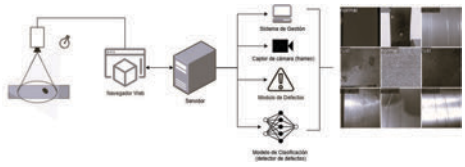


*Figura 2. Pipeline de detección*

**1. Especificaciones en la línea de producción**

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos de este proyecto es poder utilizar cámaras accesibles actualmente en el mercado, por lo que, tomaremos una cámara típica HD (1920×1080 píxeles) de 16:9 como base de estudio.

De acuerdo con la fábrica a la cual el proyecto está principalmente dirigido, los flejes de acero pueden llegar a desplazarse a una velocidad de aproximadamente 30 metros por minuto, y su ancho suele variar entre 3 cm y 30 cm. Sabiendo esto, podemos inferir los siguientes puntos:

La cámara debe estar ubicada a 90° del fleje, es decir, apuntando paralelamente a la normal de su plano.

El campo de visión horizontal de la cámara debe ser levemente mayor a 30 cm, de manera que el fleje completo puede observarse en la imagen y se evite perder información relevante para el modelo (cantidad de píxeles en un mm). Como la relación de aspecto es de 16:9, un campo de visión horizontal de 30 cm implicaría aproximadamente 16.875 cm. Como resultado, un mm ocupará 6,4 px. Si consideramos que se necesitan al menos 7 px para detectar un objeto [15], esto debería ser suficiente para captar defectos mayores a 1 mm aproximadamente, considerando la fórmula:

*Minimum Detectable Size = Field of View / Resolution x Number of Needed Pixels*

Otra variable a considerar es el tiempo de exposición de la cámara (*shutter speed*). Cuando los objetos se mueven dentro del campo de visión de una cámara sin detenerse, se debe tener en cuenta la velocidad de obturación (*shutter speed*), ya que si no se ajusta lo suficientemente rápido, la imagen capturada saldrá borrosa. Para evitarlo, la velocidad de exposición debe ajustarse de modo que el objeto no se desplace más de 1/5 de su tamaño mientras la cámara captura la imagen [16]. Teniendo en cuenta la velocidad del fleje anteriormente mencionada y la siguiente fórmula, podemos calcular la velocidad de obturación (*shutter speed*) necesaria

*Shutter speed = Required minimum detectable size of defects÷5÷Line speed*

Lo que nos daría que la cámara debe ajustarse a una velocidad de obturación (*shutter speed*) de 1/2500.

Cabe destacar que cuanto más rápida es la velocidad de obturación (*shutter speed*), menor exposición a la luz tendrá la imagen. Por ello, se requiere una buena iluminación sobre el fleje.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Además, sabiendo que un *frame* ya observa 16.875 cm de largo de un fleje, no sería necesario enviar al modelo otro *frame* hasta la siguiente sección de 16.875 cm. Por ende, se pueden recolectar cuadros cada 0.3375 segundos, o la cámara puede tener como mínimo 3 fps.

**2. Detección del fleje**

Antes de poder comenzar con la detección de defectos, el sistema debe ser capaz de reconocer si hay un fleje en la plataforma de trabajo para así poder analizar si presenta fallas.

Una estrategia es entrenar un modelo de detección de objetos para reconocer flejes. Cuando se llevó a cabo dicha estrategia, el modelo no fue capaz de alcanzar los estándares esperados. En primera instancia, el modelo no era capaz de reconocer el fleje por completo y/o presentaba un bajo nivel de confianza durante la detección. Esto puede ser causado por la poca cantidad de imágenes que presenta nuestro conjunto de datos, un problema que persistió a lo largo del proyecto y que fuimos resolviendo mediante distintos mecanismos. En segundo lugar, el tiempo promedio de procesamiento del modelo era de 130 ms, por lo que 1/3 del tiempo antes de que llegue el siguiente *frame*, el sistema lo invertía en esta sencilla tarea.

Ante esta situación, optamos por una estrategia de menor costo de procesamiento. Considerando que la plataforma de trabajo es una base plana lisa y que el fleje consiste básicamente en dos líneas rectilíneas paralelas que cruzan sobre dicha plataforma, el sistema solo tiene que ser capaz de detectar dichas líneas y asumir que el área entre ellas es el fleje. Esto no requiere entrenamiento de modelos de IA, y se puede usar la biblioteca OpenCV y su función de detección de *Hough Lines*, logrando reducir drásticamente el tiempo de detección de un fleje a aproximadamente 35 ms.

**3. Detección de defectos**

En este caso, nuevamente se intentó entrenar un modelo de detección de objetos pero que pudiera identificar fallas. No obstante, surgieron los mismos inconvenientes previos, intensificados esta vez por la escasez de imágenes, sumado a que defectos como óxido, rayones y bordes deformados no presentan formas definidas lo que dificulta la anotación de la superficie de un defecto en una imagen.

En consecuencia, se optó por entrenar un modelo de clasificación de imágenes, el cual no tiene que buscar un objeto en la imagen, sino que la clasifica por completo bajo una categoría.

Esto nos permite aplicar estrategias de data augmentation para entrenar al modelo sin requerir un arduo trabajo de anotar en las imágenes la ubicación donde se encuentra el defecto.

**Data Augmentation**

Como se puede observar en la Imagen 1, el mecanismo principal utilizado fue generar cortes a lo largo del fleje de 128 px, lo que no solo permitió multiplicar el conjunto de datos existente, sino que generó mayor variabilidad en los defectos (al seccionar una imperfección en posiciones azarosas, lo que antes se consideraba un único defecto se convierte en varios, ya que las fallas no tienen una forma exacta predefinida).



*Imagen 1. Fleje separado en cortes*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A partir de estos cortes, se aplicaron diversas estrategias, como invertir el corte en 90°, 180° y 270°, aplicar blur motion, aumentar y disminuir el brillo de la imagen (para entrenar el modelo en diversas condiciones de iluminación) y desplazarse una cierta cantidad de pixeles a izquierda y a derecha.

Debido a esto, se puede conseguir que un conjunto de datos de poco más de 100 imágenes, tenga aproximadamente 1300 imágenes significativas por cada clase de defecto.

**Modelo de Clasificación y Análisis de Imágenes**

Cada vez que se recibe de fleje de un *frame*, antes de pasárselo al modelo de clasificación, se aplica el algoritmo de cortes explicados anteriormente generando múltiples imágenes de menor resolución (128x128). Al modelo se le otorga este batch de imágenes logrando alcanzar una velocidad promedio de 10 ms de procesamiento para un batch de 10 imágenes. Por ende, esta red neuronal es capaz de determinar si hay un defecto en múltiples secciones en un tiempo lo suficiente menor a los 337 ms antes de recibir el siguiente *frame*. Esto evitaría que el modelo se sobrecargue en el procesamiento de una misma cámara.

**Resultados del Entrenamiento del Modelo**

El dataset mencionado anteriormente, se dividió en 3 secciones: entrenamiento, validación y prueba, siendo las proporciones 70%, 20% y 10% respectivamente.

Tras varias iteraciones de entrenamiento y ajuste de imágenes y parámetros (epochs:40, batch:16 e imgsz:224), se logró entrenar un modelo cuyas métricas de pérdida de entrenamiento y validación mostraron una tendencia similar, alcanzando valores próximos; además, la precisión final se aproximó a 1 (Figura 3).

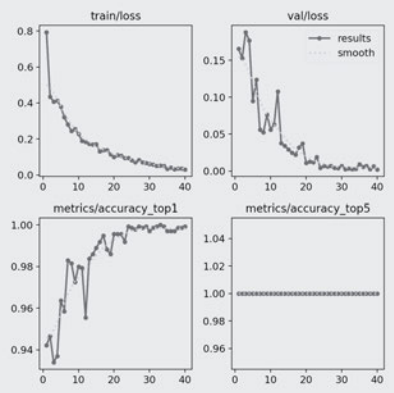



*Figura 3. Métricas de entrenamiento*

Asimismo, se obtuvo una matriz de confusión del conjunto de datos de validación en la que el modelo no presentó errores (Figura 4).

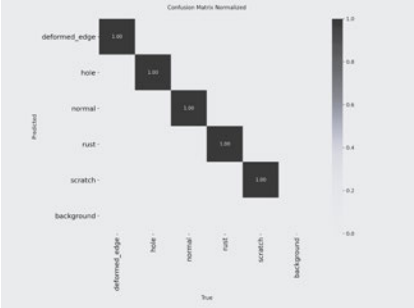



*Figura 4. Matriz de confusión de validación*

Al evaluar el modelo con el conjunto de imágenes de prueba, se obtuvo la matriz de confusión de la Figura 5, junto con las métricas de la Tabla 1 y la Tabla 2.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



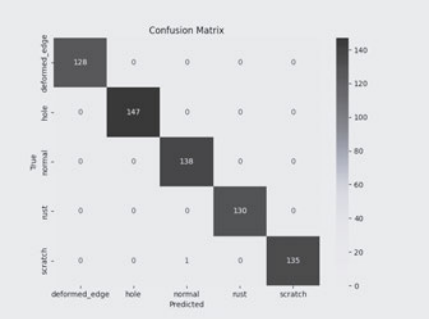



*Figura 5. Matriz de confusión de validación*

| Clase | Precisión | Recall | F1-score |
|---|---|---|---|
| **borde deforme** | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **agujero** | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **normal** | 0.9928 | 1.0000 | 0.9964 |
| **óxido** | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| **rayón** | 1.0000 | 0.9926 | 0.9963 |

*Tabla 1. Métricas por clase de la imagen*

| Métricas | Precisión | Recall | F1-score |
|---|---|---|---|
| **Exactitud** | | | 0.9985 |
| **Promedio de macro** | 0.9986 | 0.9985 | 0.9985 |
| **Promedio ponderado** | 0.9985 | 0.9985 | 0.9985 |

*Tabla 2. Métricas generales del modelo*

Por lo tanto, el modelo logró una exactitud del 0.9985 en el conjunto de prueba.

## Conclusión

Este trabajo abordó el problema crítico de la detección ineficiente de defectos superficiales en flejes de acero, una limitación que afecta directamente la calidad del producto y la competitividad de las pymes del sector siderúrgico argentino. Frente a la dependencia de inspecciones manuales costosas y propensas a errores, se propuso una solución integral que combina visión por computadora, técnicas de inteligencia artificial y una plataforma de gestión centralizada, orientada a garantizar la trazabilidad y optimizar la producción.

Los resultados obtenidos con el modelo desarrollado evidencian un desempeño altamente satisfactorio, alcanzando una exactitud del 99,85% en la clasificación de defectos como óxido, rayones, bordes deformados y perforaciones. Este nivel de precisión no sólo valida la viabilidad técnica de la propuesta, sino que también demuestra su relevancia práctica para reducir devoluciones, mejorar la satisfacción del cliente y generar una ventaja competitiva en entornos industriales donde la eficiencia y la confiabilidad son fundamentales.

El impacto de este enfoque se manifiesta en la posibilidad de democratizar el acceso a tecnologías avanzadas de control de calidad, tradicionalmente reservadas a grandes empresas por sus altos costos. Al diseñar un sistema modular, escalable y de bajo costo de implementación, se favorece la incorporación de inteligencia artificial en pymes metalúrgicas, contribuyendo a la modernización de la industria nacional y al fortalecimiento de sus cadenas productivas.

No obstante, se reconocen limitaciones relevantes: el dataset inicial fue reducido y requirió técnicas de data augmentation, lo que plantea la necesidad de ampliar las bases de datos con muestras más diversas para robustecer la capacidad generalizadora del modelo. Asimismo, la solución se encuentra en etapas finales de desarrollo, y deberá validarse en entornos industriales reales para evaluar su resistencia frente a variaciones de iluminación, velocidad de producción y condiciones de operación, así como posibles mejoras en la plataforma de gestión.

Como líneas futuras, se proyecta la integración de arquitecturas que incorporen módulos de aprendizaje continuo que permitan al sistema adaptarse dinámicamente a nuevos defectos. También se vislumbra la extensión del enfoque hacia otros procesos de manufactura de productos bobinados, consolidando un marco versátil de control de calidad inteligente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En definitiva, este proyecto no solo demuestra el potencial de la inteligencia artificial para resolver un problema técnico concreto, sino que también abre un camino hacia sistemas industriales más eficientes, confiables y accesibles, que fortalecen la competitividad de las pymes y contribuyen a la transformación digital de la industria siderúrgica nacional.

**Agradecimientos**

Agradecemos profundamente a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por su invalorable colaboración. Sus aportes y recomendaciones fueron cruciales para el desarrollo de nuestro proyecto, y representó un pilar fundamental en la materialización de nuestra idea.

**Referencias**

[1] B. Gajdzik, J. Sitko: An analysis of the causes of complaints about stell sheets in metallurgical product quality management systems. 2014 (https://hrcak.srce.hr/file/15349)

[2] Zhao, L.Y.; Wu, Y.Q. Research progress of surface defect detection methods based on machine vision. Chin. J. Sci. Instrum. 2022, 43, 198–219.

[3] Hu, X.; Yang, J.; Jiang, F.; Liu, H.; Sun, L. Steel surface defect detection based on self-supervised contrastive representation learning with matching metric. Appl. Soft Comput. 2023, 145, 110578. (http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110578)

[4] Eisenmann, D.J.; Enyart, D.; Lo C.; Leblanc, M. Review of progress in magnetic particle inspection. AIP Conf. Proc. 2014, 1581, 1505–1510.

[5] Du,Plessis, A.; Yadroitsava, I.; Yadroitsev, I. Effects of defects on mechanical properties in metal additive manufacturing: A review focusing on X-ray tomography insights. Mater. Des. 2020, 187, 108385. (http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108385)

[6] Jian, C.; Gao, J.; Ao, Y. Automatic surface defect detection for mobile phone screen glass based on machine vision. Appl. Soft Comput. 2017, 52, 348–358. (http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2016.10.030)

[7] Hameed,S.S.; Muralidharan, V.; Ane, B.K. Comparative analysis of fuzzy classifier and ANN with histogram features for defect detection and classification in planetary gearbox. Appl. Soft Comput. 2021, 106, 107306. (http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107306)

[8] Song, K.; Yan, Y. A noise robust method based on completed local binary patterns for hot-rolled steel strip surface defects. Appl. Surf. Sci. 2013, 285, 858–864. (http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.09.002)

[9] Susan, S.; Sharma, M. Automatic texture defect detection using Gaussian mixture entropy modeling. Neurocomputing 2017, 239, 232–237. (http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2017.02.021)

[10] Girshick, R. Fast R-CNN. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Santiago, Chile, 7–13 December 2015; pp. 1440–1448.

[11] Vaswani, A. Attention is all you need. In Proceedings of the Advances in Neural Information Processing Systems, Long Beach, CA, USA, 4–9 December 2017.

[12] Zhou,X.; Wei, M.; Li, Q.; Fu, Y.; Gan, Y.; Liu, H.; Ruan, J.; Liang, J. Surface defect detection of steel strip with double pyramid network. Appl. Sci. 2023, 13, 1054. (http://dx.doi.org/10.3390/app13021054)

[13] Liu, H.; Chen, C.; Hu, R.; Bin, J.; Dong, H.; Liu, Z. CGTD-Net: Channel-wise global Transformer based dual-branch network for industrial strip steel surface defect detection. IEEE Sens. J. 2024, 24, 4863–4873. (http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2023.3346470)

[14] Zhou, Q.; Wang, H. CABF-YOLO: A precise and efficient deep learning method for defect detection on strip steel surface. Pattern Anal. Appl. 2024, 27, 36. (http://dx.doi.org/10.1007/s10044-024-01252-5)

[15] What Is Sensor Resolution in a Machine Vision System. 2025 (https://es.unitxlabs.com/resources/sensor-resolution-machine-vision-system-image-detail-defects/)

[16] Concept of Minimum Detectable Object Size (https://www.keyence.com/ss/products/vision/visionbasics/basic/practice02)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Plataforma Predictiva para Evaluar el Potencial de Terrenos en Texas mediante Análisis Normativo, Geoespacial y de Mercado

**Batalla Lucas Marcelo, Panozzo Francisco Bautista, Fiandrino Maximiliano, Eric Daniel Villadeza Carpio, Audino Julieta Siomara**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*El análisis eficiente de terrenos representa un desafío clave para inversores y desarrolladoras que operan en mercados descentralizados como el de Texas, donde la información pública es abundante pero dispersa y difícil de interpretar. Este trabajo presenta Terra, una plataforma tecnológica en desarrollo que integra datos de mercado, zonificación e información geoespacial para facilitar la evaluación técnica y estratégica de terrenos. La solución permite visualizar propiedades vendidas o en venta sobre mapas interactivos, aplicar filtros dinámicos, analizar estadísticas de evolución del mercado y obtener estimaciones del valor futuro de un terreno. El sistema fue desarrollado mediante una metodología ágil adaptada al contexto académico, con sprints de dos semanas, reuniones de sincronización, revisiones iterativas y retrospectivas regulares. La arquitectura técnica se basa en una plataforma web construida con Laravel, Vue.js e Inertia.js, y un microservicio de análisis de datos en Python, complementado con mapas interactivos desarrollados con Leaflet. Hasta el momento, se ha logrado implementar una interfaz funcional con visualización de terrenos, mapas de calor, una primera versión del modelo predictivo y un dashboard estadístico básico. Las validaciones preliminares con actores del sector han sido altamente positivas: desarrolladoras del estado calificaron el potencial de la plataforma con un promedio de 4.5 sobre 5, mientras que el 87 % de los inversores consultados consideró que Terra tiene un alto valor para identificar oportunidades de inversión. Estos resultados refuerzan la proyección del sistema como una herramienta útil, escalable y con aplicación real en el sector inmobiliario digital.*

**Palabras Clave**
Análisis Territorial, Inversión Inmobiliaria, Zonificación Urbana, Predicción de Valor, Visualización Geoespacial, PropTech, Texas, Plataforma Web, Aprendizaje Automático.

## Introducción

En el contexto actual de expansión urbana, inversiones descentralizadas y digitalización del mercado inmobiliario, la evaluación técnica de terrenos representa un desafío central para desarrolladores e inversores que operan en entornos altamente dinámicos como Estados Unidos.

A lo largo de este documento, se describirá en las secciones iniciales la motivación del proyecto, sus objetivos y la solución propuesta. Luego se detallará, en los apartados de “Elementos de trabajo y metodología” y “Desarrollo”, la estrategia de implementación, las tecnologías utilizadas y la evolución funcional de la plataforma. Posteriormente se presentarán los desafíos enfrentados, los avances alcanzados y los resultados preliminares obtenidos a partir del feedback de actores reales del sector. A continuación, se analizarán los trabajos relacionados y se discutirá cómo Terra se posiciona frente a soluciones existentes. Finalmente, se expondrán las conclusiones generales del trabajo, sus principales aportes y las líneas futuras de mejora y expansión previstas.

### 1.1 Contexto y Motivación

Específicamente en el estado de Texas, con un crecimiento urbano sostenido y una normativa urbanística descentralizada, presenta oportunidades de inversión que requieren un análisis profundo y multidimensional [1]. Si bien existe una amplia disponibilidad de datos abiertos —como registros de compraventa, mapas de zonificación, límites geoespaciales y datos catastrales—, su dispersión, heterogeneidad y falta de integración dificultan su aprovechamiento efectivo por parte de inversores, desarrolladores y plataformas de inversión colectiva.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A esta problemática se suma el crecimiento sostenido del mercado PropTech, donde la demanda de soluciones basadas en datos y visualización inteligente ha impulsado nuevas dinámicas de análisis territorial. De hecho, durante el primer trimestre de 2025, las inversiones en plataformas tecnológicas inmobiliarias superaron los 2 000 millones de dólares a nivel global [2], mientras que el mercado de inversión colectiva inmobiliaria (crowdfunding) proyecta una expansión superior al 45 % anual hasta 2030 [3]. Esta evolución evidencia un cambio en las expectativas del sector, que exige cada vez más herramientas tecnológicas capaces de procesar información pública y brindar soporte riguroso a la toma de decisiones.

### 1.2 Objetivo del Proyecto

Objetivo general

Diseñar e implementar una plataforma web interactiva que facilite el análisis técnico y comercial de terrenos en el estado de Texas, integrando múltiples fuentes públicas de datos para mejorar la toma de decisiones de inversión en el sector inmobiliario.

Objetivos específicos

- Integrar y unificar información pública proveniente de registros de compraventa, normativas de zonificación e indicadores geoespaciales, permitiendo un análisis completo y centralizado del terreno.
- Desarrollar un sistema de visualización interactiva mediante mapas, que permita explorar terrenos disponibles o vendidos, aplicar filtros personalizados y acceder a datos relevantes de forma clara y rápida.
- Implementar un dashboard estadístico que permita analizar tendencias del mercado a lo largo del tiempo, como evolución del precio por acre y ratio de propiedades vendidas/en venta.
- Construir un modelo predictivo inicial que estime el valor de un terreno a partir de su tamaño y ubicación, como base para futuros modelos más complejos.
- Validar la solución con actores reales del sector (desarrolladoras e inversores), recopilando feedback que oriente mejoras funcionales y de experiencia de usuario.

Hasta el momento, se han alcanzado importantes avances: se desarrolló una interfaz funcional con filtros interactivos, visualización de terrenos, mapas de calor, estadísticas básicas del mercado y una primera versión del modelo de predicción. Estos componentes ya han sido validados con actores del sector, mostrando alto interés y receptividad.

### 1.3 Solución Propuesta

La arquitectura del sistema se basa en servicios desplegados en la nube, con un fuerte foco en la escalabilidad, la modularidad y el cumplimiento normativo. En su primera etapa, Terra ya permite explorar información sobre terrenos vendidos o en venta, visualizar zonificación y consultar estadísticas del mercado por condado o ciudad. Se prevé incorporar modelos predictivos de valorización y capas GIS dinámicas en futuras versiones.

### Elementos de trabajo y Metodología

Para dar soporte al desarrollo de Terra, se adoptó una metodología ágil adaptada al entorno académico, con base en principios Scrum, permitiendo un enfoque iterativo, flexible y ajustado a las necesidades de un proyecto de fin de carrera.

### 2.1 Metodología y Desarrollo

El equipo implementó un enfoque de desarrollo iterativo e incremental inspirado en Scrum, ajustado al contexto académico

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



del Trabajo Final de Carrera. Se trabajó en ciclos de dos semanas (sprints), cada uno con una estructura clara de planificación, ejecución y revisión:

- Sprint de dos semanas, con objetivos específicos y entregables definidos.
- Reuniones diarias de sincronización para revisar progreso, identificar obstáculos y coordinar actividades.
- Revisiones de Sprint al finalizar cada ciclo, presentando avances y recibiendo retroalimentación inmediata.
- Retrospectivas Sprint, para reflexionar sobre lo trabajado, detectar mejoras en el proceso y ajustar dinámicas para el siguiente ciclo.

Esta adaptación se inspira en experiencias documentadas sobre el uso de métodos Scrum en entornos educativos de Neumann y Baumann (2021), el cual muestra cómo eduScrum fue exitosamente implementado en un programa de maestría, integrando problemas reales de la industria con equipos de estudiantes organizados mediante backlog y sprints [4].

Este enfoque permitió estructurar el desarrollo de Terra de forma disciplinada, fomentar la colaboración y la responsabilidad, y adaptarse rápidamente a los requerimientos cambiantes del proyecto académico.

### 2.2 Herramientas y tecnologías

Para el desarrollo de Terra se eligieron tecnologías modernas, confiables y ampliamente utilizadas en el ámbito del software. La elección se basó en criterios como facilidad de uso, disponibilidad de documentación, escalabilidad del sistema y experiencia previa del equipo. A continuación, se detallan las herramientas principales utilizadas:

Python (para el análisis de datos): Se utilizó el lenguaje Python para construir los módulos que procesan y analizan la información de terrenos, como precios históricos, ubicación o superficie. Esta elección se debe a que Python es muy usado en ciencia de datos, cuenta con muchas librerías específicas para análisis numérico, y tiene una comunidad muy activa que facilita el aprendizaje y la resolución de problemas [5]. Además, es un lenguaje flexible, compatible con distintas formas de implementación en servidores, lo cual lo hace ideal para un proyecto que puede escalar en el tiempo.

Laravel, Inertia.js y Vue.js (para la plataforma web): La plataforma web de Terra se construyó combinando tres tecnologías. Laravel, un entorno de desarrollo en PHP, facilita la organización del código del lado del servidor. Vue.js permite crear interfaces visuales modernas y reactivas, es decir, que responden dinámicamente a las acciones del usuario. Inertia.js actúa como puente entre ambas tecnologías, permitiendo una integración fluida sin necesidad de construir una API por separado. Este conjunto fue elegido por ser eficiente, ampliamente documentado, y porque el equipo de desarrollo ya tenía experiencia previa en su uso.

Leaflet y vue-leaflet (para los mapas interactivos): Para mostrar los terrenos en el mapa y permitir su exploración visual se utilizó Leaflet, una herramienta especializada en mapas interactivos. En combinación con Vue, permite que el usuario pueda ver en pantalla los lotes disponibles, seleccionar zonas, aplicar filtros y analizar los datos de forma visual. Leaflet es una de las herramientas más utilizadas en visualización geográfica en la web, es liviana, fácil de integrar y ofrece muchas opciones de personalización [6].

Estas tecnologías fueron elegidas no solo por sus características técnicas, sino también por su estabilidad, facilidad de aprendizaje y amplio soporte de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



comunidad. Además, permiten que el sistema pueda mantenerse y escalar en el tiempo sin requerir un rediseño completo.

**2.3 Proceso de desarrollo**

El ciclo general aplicado en el desarrollo de Terra siguió esta secuencia:

Análisis de requisitos: Identificación y priorización de requisitos funcionales (visualización, filtros, zonificación) y no funcionales (escalabilidad, cumplimiento normativo, modularidad).

Diseño: Generación de diagramas UML que describen interacciones del sistema, servicios, componentes frontend y backend, y flujos de datos.

Implementación: Desarrollo iterativo de los módulos del sistema en sprints semanales de dos semanas, con entregables incrementales: microservicio en Python, interfaces, integración de mapas, dashboard estadístico.

Este proceso permitió avanzar paso a paso, validar prototipos, incorporar feedback técnico, y mantener alineado el desarrollo con los objetivos del proyecto.

**2.4 Pruebas**

Para garantizar la calidad y fiabilidad de Terra, se está desarrollando un plan de pruebas que contempla múltiples niveles de validación, alineados con buenas prácticas de ingeniería de software. Este plan será implementado de forma iterativa y continua a lo largo del desarrollo del proyecto, permitiendo revisiones y ajustes dinámicos en función de los resultados obtenidos y del feedback proveniente de usuarios y pruebas reales.

Las pruebas previstas incluyen:

Pruebas unitarias: verifican el correcto funcionamiento de componentes individuales, como la carga y filtrado de datos o el cálculo estadístico.

Pruebas de integración: aseguran que los distintos componentes —como el microservicio Python, la interfaz web y el visor geoespacial— funcionen de manera coordinada dentro del entorno de ejecución.

Pruebas de aceptación: realizadas por usuarios finales o expertos en el sector, verifican el cumplimiento de los requisitos funcionales y la experiencia de uso general.

Pruebas de rendimiento: miden tiempos de respuesta, carga de mapas y eficiencia en consultas geoespaciales, tomando como referencia estudios sobre desempeño en servicios de mapeo en la web.

Pruebas de usabilidad: evalúan la experiencia del usuario mediante indicadores como tasa de éxito en tareas, tiempo de interacción y nivel de satisfacción.

Validación de resultados: se comparan las salidas del sistema con datos históricos o de referencia para evaluar la precisión, consistencia y confiabilidad de los resultados entregados.

Esta estrategia busca asegurar que el sistema no solo funcione correctamente desde el punto de vista técnico, sino que también resulte útil, eficiente y comprensible para sus usuarios finales.

**2.5 Métricas y Evaluación**

Si bien el sistema Terra aún se encuentra en etapa de desarrollo, se han definido un conjunto preliminar de métricas que permitirán evaluar su desempeño técnico, experiencia de usuario y calidad general. Estas métricas han sido seleccionadas en función de estándares ampliamente utilizados en proyectos de software, especialmente aquellos orientados a servicios geoespaciales y aplicaciones web interactivas.

Las métricas seleccionadas son las siguientes:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Tiempo medio de respuesta: Corresponde al tiempo promedio que demora el sistema en cargar el mapa, aplicar filtros o responder a consultas geoespaciales. Esta métrica permite evaluar el rendimiento del sistema desde la perspectiva del usuario final, y se ha utilizado ampliamente en evaluaciones de servicios GIS y aplicaciones basadas en web mapping [7][8].

Tasa de errores en consultas: Mide el porcentaje de consultas que presentan fallos, como errores de conexión, respuestas vacías o demoras superiores al umbral establecido. Es una métrica clave para asegurar la robustez del sistema, especialmente en entornos donde se manejan múltiples fuentes de datos y operaciones geoespaciales complejas [9].

Tasa de éxito: Se define como la proporción de tareas completadas correctamente por los usuarios durante pruebas funcionales o de usabilidad. Es una métrica esencial para evaluar si la interfaz permite realizar acciones críticas de manera efectiva, como identificar terrenos, aplicar filtros o acceder a información normativa [10].

Tiempo de tarea: Registra el tiempo promedio que tardan los usuarios en completar tareas específicas, como ubicar un terreno dentro de un condado, visualizar su zonificación o acceder a datos históricos de precios. Esta métrica, complementaria a la tasa de éxito, permite identificar cuellos de botella en la experiencia de usuario y oportunidades de mejora en la interfaz.

Estas métricas serán aplicadas de forma progresiva en las siguientes etapas del proyecto, tanto en pruebas internas como en sesiones controladas con usuarios reales. Los resultados obtenidos servirán para validar decisiones de diseño, optimizar la eficiencia del sistema y guiar los ajustes funcionales necesarios. Al finalizar el desarrollo, estas métricas también permitirán realizar una evaluación comparativa entre versiones del sistema y documentar su evolución en términos de calidad técnica y usabilidad.

## Desarrollo

### 3.1 Arquitectura del sistema

La plataforma Terra fue diseñada bajo una arquitectura modular, lo que significa que cada conjunto de funcionalidades se encuentra organizado en componentes independientes, pero interconectados. Esta organización facilita el mantenimiento, la escalabilidad y la incorporación progresiva de nuevas capacidades a medida que el proyecto evoluciona. A continuación, se describen los módulos principales que componen el sistema:

Módulo de Compraventa: Este módulo centraliza la información histórica de terrenos vendidos y en venta. Permite consultar, filtrar y visualizar datos como precio, ubicación, superficie y fecha de transacción. Su objetivo es ofrecer una base sólida para el análisis de valor de mercado, detectar tendencias y comparar oportunidades de inversión.

Módulo de Zonificación: Integra datos públicos sobre normativas urbanas y uso del suelo en distintas ciudades o condados del estado de Texas. Este módulo permite a los usuarios conocer qué tipo de desarrollos (residencial, comercial, industrial, etc.) están permitidos en cada zona, lo cual es clave para determinar el potencial de un terreno.

Módulo de Visualización (Mapa): Es el núcleo de la interfaz gráfica. A través de un mapa interactivo, el usuario puede explorar terrenos, aplicar filtros y activar distintas capas informativas, como precios por zona, áreas vendidas, límites administrativos o tipo de zonificación. Está diseñado para ofrecer una experiencia de navegación intuitiva y visualmente clara.

Módulo GIS (Información Geoespacial): Incorpora datos espaciales adicionales que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



enriquecen el análisis del terreno, como proximidad a rutas, ríos, zonas inundables o infraestructura crítica. Aporta contexto territorial para evaluar riesgos o ventajas según la ubicación específica del lote.

Módulo de Predicción: Tiene como objetivo estimar el valor potencial de un terreno a futuro, utilizando modelos de aprendizaje automático. Basado en datos históricos, normativos y geográficos, busca identificar patrones que permitan anticipar tendencias de valorización.

Módulo de Suscripciones y Autenticación: Gestiona el acceso de los usuarios a la plataforma. Permite registrarse, iniciar sesión, y acceder a distintos niveles de funcionalidades según el tipo de suscripción (por ejemplo, usuarios invitados, usuarios registrados, o empresas con acceso avanzado). Este módulo también permite administrar notificaciones y configuraciones personalizadas.

En conjunto, estos módulos conforman una arquitectura orientada a brindar al usuario final —ya sea inversor o desarrollador— una herramienta práctica, informativa y adaptable para tomar decisiones basadas en datos. Cada módulo interactúa con los demás de forma coordinada, pero también puede evolucionar de manera independiente a lo largo del tiempo.

### 3.2 Desafíos y limitaciones

Durante el desarrollo de Terra se enfrentaron distintos desafíos técnicos y operativos que condicionaron el ritmo de avance del proyecto:

Desarrollo del modelo predictivo: La falta de experiencia previa del equipo en aprendizaje automático obligó a realizar investigaciones y consultas con especialistas para definir el enfoque adecuado y las herramientas más convenientes. Esto representó una curva de aprendizaje importante, especialmente al momento de seleccionar las variables y el lenguaje de implementación.

Integración de datos públicos: La extracción y transformación de datos del mercado y de zonificación fue compleja debido a la falta de APIs amigables y la necesidad de formatear manualmente los archivos para que sean compatibles con el sistema de visualización geográfica. Este proceso requirió tiempo y varios ajustes.

Diseño y rendimiento del mapa: El desarrollo del mapa implicó el desafío de lograr una visualización clara, atractiva y funcional. Se recibieron comentarios positivos de expertos del sector sobre la interfaz actual (zonificación, mapa de calor, datos del mercado), aunque se identificó como pendiente la optimización de la fluidez de navegación y la carga de datos, especialmente al trabajar con múltiples capas.

Estos desafíos permitieron al equipo adquirir nuevos conocimientos y ajustar el enfoque técnico, sentando las bases para las mejoras planificadas en las siguientes etapas del proyecto.

### 3.3 Estado y Próximos Pasos

El proyecto Terra se encuentra actualmente en fase de desarrollo activo. Durante las primeras iteraciones se han logrado implementar y validar funcionalidades fundamentales que sientan las bases técnicas y conceptuales del sistema. Entre los principales avances hasta el momento se destacan:

Visualización interactiva de terrenos: se ha desarrollado una interfaz cartográfica que permite explorar terrenos en el estado de Texas, tanto vendidos como en venta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



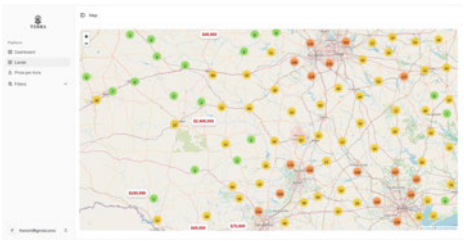


*Figura 1: Mapa con propiedades/terrenos vendidos y en venta*[1]

El usuario puede aplicar filtros por condado, rango de precios, estado de la propiedad (vendida o disponible) y superficie, así como acceder a detalles clave de cada lote.

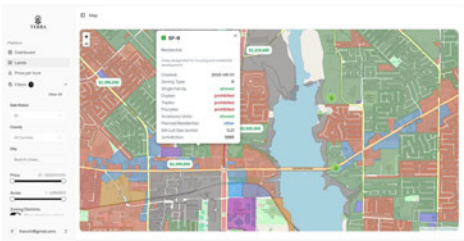


*Figura 2: Mapa con la zonificación de cada terreno y su detalle*[2]

Además, se incorporó un mapa de calor que permite visualizar de forma agregada las zonas con mayor precio promedio por acre, facilitando la detección de áreas de alto valor relativo.

[1] Corresponde a una captura de la interfaz del mapa de terrenos vendidos/en venta de la aplicación en desarrollo Terra.
Fuente: Elaboración propia

[2] Corresponde a una captura de la interfaz del mapa de terrenos con los detalles de zonificación.
Fuente: Elaboración propia



*Figura 3: Mapa de calor con mayor precio promedio por acre*[3]

Dashboard de estadísticas (versión inicial): se implementó un panel gráfico que muestra dos indicadores clave del mercado inmobiliario: el ratio entre propiedades vendidas y en venta por trimestre, y la evolución del precio promedio por acre a lo largo del tiempo. Esta funcionalidad permite al usuario realizar un análisis temporal y comparar tendencias por región.

Modelo predictivo (versión inicial): se desarrolló un primer prototipo de modelo de predicción de precios, basado en datos históricos. En esta etapa inicial, el modelo utiliza como variables principales el tamaño del terreno (expresado en acres) y el condado donde se encuentra, generando una estimación del valor esperado de la propiedad.

Estos avances constituyen una base sólida sobre la cual se proyecta la expansión funcional del sistema. Los próximos pasos del desarrollo incluyen:

- Incorporación de capas geoespaciales al mapa: se integrarán datos adicionales como infraestructura, rutas, zonas de riesgo ambiental o proximidad a servicios, enriqueciendo el análisis territorial.
- Mejoras en el modelo predictivo: se prevé el desarrollo de nuevas versiones del modelo que consideren no sólo superficie y

[3] Corresponde a una captura de la interfaz del mapa de calor basado en el precio promedio por acre.
Fuente: Elaboración propia

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ubicación, sino también características normativas (zonificación) y factores geoespaciales, con el objetivo de lograr una estimación más precisa y contextualizada.
- Optimización de rendimiento del mapa: se trabajará en mejorar la velocidad de carga y la fluidez de la visualización, especialmente al manejar grandes volúmenes de datos geoespaciales y normativos superpuestos.

Estos próximos hitos permitirán consolidar a Terra como una herramienta robusta y eficaz para el análisis integral de terrenos, combinando datos del mercado, normativa urbana e inteligencia territorial en un entorno visual e interactivo.

**Resultados Preliminares**

Si bien Terra aún se encuentra en desarrollo, ya se han realizado instancias de validación con actores del sector inmobiliario, lo que ha permitido obtener feedback valioso sobre el enfoque y el potencial de la solución.

Se llevaron a cabo reuniones exploratorias con desarrolladoras inmobiliarias del estado de Texas, a quienes se les presentó el concepto y las funcionalidades principales de la plataforma. A pesar de que el sistema aún no se encuentra completamente implementado, la recepción fue altamente positiva: en una escala de 1 a 5, el promedio de valoración sobre el potencial de la herramienta fue de 4.5, lo cual refleja un fuerte interés y una alta expectativa sobre su utilidad futura.

Por otro lado, se compartió una versión inicial de la interfaz con un grupo de inversores individuales. En esta validación preliminar, el 82% calificó el diseño y la intuitividad de uso como “Muy Buena”, mientras que un 87% coincidió en que la herramienta tiene alto potencial para facilitar el análisis de oportunidades de inversión en terrenos.

Estos resultados permiten anticipar una buena recepción por parte del mercado objetivo, y confirman la relevancia de los ejes funcionales definidos en el proyecto.

En cuanto al desarrollo técnico, ya se han implementado las funcionalidades principales del sistema: visualización interactiva de terrenos con filtros, mapa de calor por precio por acre, primeros datos de zonificación y mercado, una versión inicial del dashboard de estadísticas, y un modelo predictivo básico. Estos avances establecen una base sólida para las próximas etapas, que incluirán la incorporación de capas geoespaciales, mejoras en el rendimiento del mapa y el perfeccionamiento del modelo de predicción.

**Trabajos relacionados**

El análisis del estado del arte revela un ecosistema creciente de soluciones PropTech que buscan resolver problemáticas similares a las de Terra, aunque con diferentes enfoques y limitaciones.

En Estados Unidos destacan:

Prophetic: Centraliza datos de zonificación y genera automáticamente planes de desarrollo óptimos según normativa, reduciendo drásticamente los tiempos de análisis. Sin embargo, su foco está en desarrolladores y no en predicciones de valorización futura [11].

Acres: Ofrece transparencia en el mercado de tierras rurales y agrícolas mediante una base de 150 millones de parcelas con capas ambientales, datos de dueños y comparables de ventas, aunque con un enfoque descriptivo más que predictivo [12].

Land Intelligence (LandSUITE): Combina big data y analítica para determinar el “uso

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



más adecuado" de cada terreno, acelerando la prefactibilidad para desarrolladores, pero orientado principalmente a quienes urbanizan directamente [13].

CityBldr: Utiliza IA para identificar terrenos urbanos subutilizados y calcular su "mejor uso", facilitando la reurbanización, aunque limitado a entornos urbanos y sin integrar riesgos ambientales [14].

Land id (antes MapRight): Democratiza la cartografía inmobiliaria con acceso parcelario y capas GIS, pero sin análisis predictivo ni recomendaciones de inversión [15].

En el ámbito académico, investigaciones recientes confirman la utilidad de algoritmos de machine learning como XGBoost y Random Forest para modelos de valoración de terrenos [16], así como la necesidad de integrar factores de riesgo climático, dado que los precios actuales no reflejan adecuadamente la exposición a inundaciones y otros eventos extremos [17].

En síntesis, el estado del arte valida el potencial de Terra al demostrar:

- La relevancia de centralizar datos dispersos en una sola plataforma.
- La necesidad de automatizar el análisis normativo y de riesgos para acelerar la diligencia debida.
- La oportunidad de diferenciarse incorporando predicción de valorización futura y evaluación de riesgos climáticos, dimensiones aún poco abordadas en las soluciones existentes.

Terra se posiciona así como una solución innovadora al integrar lo mejor de cada enfoque (transparencia de datos (geoespaciales, zonificación y de mercado) y , analítica predictiva) orientada no solo a desarrolladoras, sino también a inversores institucionales y plataformas de inversión colectiva.

**Conclusión**

Este trabajo presentó el desarrollo en curso de Terra, una plataforma tecnológica orientada al análisis informativo de terrenos en el estado de Texas. A través de una arquitectura modular, Terra busca integrar datos públicos del mercado inmobiliario, normativas de zonificación e información geoespacial en una herramienta unificada, visual e interactiva, destinada a desarrolladores e inversores.

Uno de los principales aportes del proyecto es su enfoque integrado: a diferencia de muchas soluciones existentes que abordan sólo un aspecto del análisis territorial (como visualización o acceso a datos catastrales), Terra propone una experiencia completa, combinando visualización, exploración normativa, estadísticas históricas y un primer modelo de predicción del valor del terreno. Este enfoque fue validado positivamente por actores del sector, lo que refuerza la viabilidad de la solución en contextos reales.

Si bien el proyecto aún se encuentra en desarrollo, existen desafíos técnicos que representan oportunidades de mejora y evolución. El modelo predictivo inicial, centrado en variables como tamaño y ubicación del terreno, constituye una base sólida sobre la cual se proyecta incorporar factores adicionales como zonificación detallada e indicadores geoespaciales para mejorar su precisión. Por otro lado, la visualización cartográfica ya implementada ha demostrado ser funcional y clara, aunque se prevé optimizar su rendimiento en escenarios con grandes volúmenes de datos. Asimismo, el acceso a información pública en formatos heterogéneos ha implicado un esfuerzo significativo de procesamiento, lo que resalta la importancia de avanzar hacia mecanismos de actualización automatizada que faciliten la escalabilidad del sistema.

En cuanto a los resultados preliminares, la validación con profesionales del sector mostró un alto nivel de interés y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



receptividad. Las reuniones con desarrolladoras dieron un promedio de valoración de 4.5 sobre 5, y un 87% de los inversores consideró que la plataforma tiene un alto potencial para facilitar la evaluación de terrenos. Este tipo de retroalimentación confirma que el proyecto está alineado con necesidades reales del mercado.

## Trabajos Futuros

Los trabajos futuros se enfocarán en profundizar y expandir las funcionalidades ya desarrolladas, consolidando a *Terra* como una plataforma integral para el análisis de terrenos. Se avanzará en el perfeccionamiento del modelo predictivo mediante la incorporación de variables de zonificación e indicadores geoespaciales. Asimismo, se trabajará en la mejora del rendimiento del mapa, optimizando la carga de capas y la fluidez de navegación. Otra línea clave será automatizar el proceso de extracción y actualización de datos públicos, lo que permitirá escalar la solución y facilitar su adaptación a otros estados o países.

Finalmente, se proyecta también evaluar nuevas formas de visualización comparativa entre terrenos, incorporar indicadores de riesgo y valor potencial, y explorar modelos de recomendación que, sin violar regulaciones legales, puedan orientar al usuario en su análisis. Todo esto se realizará manteniendo la premisa de accesibilidad, transparencia y trazabilidad de los datos.

En definitiva, los avances alcanzados hasta el momento —tanto en términos funcionales como de validación con actores reales del mercado— posicionan a *Terra* como una propuesta sólida e innovadora, con potencial real de evolución hacia una herramienta estratégica de alto impacto en el ámbito del análisis territorial y la inversión inmobiliaria basada en datos.

**Referencias**

[1] Guo, J., & Zhang, M. (2021). Exploring the patterns and drivers of urban expansion in the Texas Triangle megaregion. *Land, 10*(11), 1244. https://doi.org/10.3390/land10111244

[2] Vantage Market Research. (s.f.). Real estate crowdfunding market – Global industry assessment & forecast (2023–2030). https://www.vantagemarketresearch.com/industry-report/real-estate-crowdfunding-market-2206

[3] Center for Real Estate Technology & Innovation (CRETI). (2025, abril 24). Q1 2025: Venture capital investments in PropTech reached $2 billion. https://creti.org/insights/q1-2025-venture-capital-investments-in-proptech-reached-2-billion

[4] Neumann, M., & Baumann, L. (2021). *Agile methods in higher education: Adapting and using eduScrum with real world projects* [Preprint]. arXiv. https://arxiv.org/abs/2106.12166

[5] McKinney, W. (2012). Python for data analysis: Data wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. " O'Reilly Media, Inc."

[6] Horbiński y Lorek (2020). The use of Leaflet and GeoJSON files for creating the interactive web map of the preindustrial state of the natural environment.

[7] Franchi, E., Talia, D., Trunfio, P., & Vocaturo, F. (2025). Performance evaluation of containerized GIS microservices for scalable spatial data processing. Journal of Grid Computing, 23(1), 87–108.https://doi.org/10.1007/s10723-025-09806-5

[8] Zunino, A., Garibotto, G., & Fernandez, C. (2020). Performance Evaluation of Web Map Libraries for Interactive Spatial Applications. ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(10), 563. https://doi.org/10.3390/ijgi9100563

[9] Gui, Z., Wang, F., & Yu, Y. (2016). Research and Implementation of Web Map Service (WMS) Error Monitoring and Quality Evaluation. arXiv preprint arXiv:1606.05439. https://arxiv.org/abs/1606.05439

[10] Nielsen, J. (2001). Success rate: The simplest usability metric. Nielsen Norman Group. https://www.nngroup.com/articles/usability-metrics

[11] Prophetic. (2024). Zoning AI and site analysis platform. PropheticAI.com. https://www.propheticsoftware.ai/

[12] Acres. (2024). Complete land intelligence in one place. Acres.com. https://www.acres.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[13] Land Intelligence. (2024). LandSUITE: Data-driven land development. Land Intelligence Inc.

[14] CityBldr. (2024). AI-powered site selection for redevelopment. CityBldr.com. https://www.citybldr.com

[15] Land id. (2024). Land id – The best mapping platform for real estate. Landid.com. https://www.landid.com

[16] Jafary, P., Shojaei, D., Rajabifard, A., & Ngo, T. (2024). Automated land valuation models: A comparative study of four machine learning and deep learning methods based on a comprehensive range of influential factors. Cities, 151, 105115.

[17] Gourevitch, J. D., Kousky, C., Liao, Y., Nolte, C., Pollack, A. B., Porter, J. R., & Weill, J. A. (2023). Unpriced climate risk and the potential consequences of overvaluation in US housing markets. Nature climate change, 13(3), 250-257.

**Datos de Contacto:**

*Lucas Marcelo Batalla. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*lbatalla@frba.utn.edu.ar*

*Eric Daniel Villadeza Carpio. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*ericvilladezacarpio@frba.utn.edu.ar*

*Francisco Bautista Panozzo. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*fpanozzo@frba.utn.edu.ar*

*Maximiliano Fiandrino. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*maxifiandrino@frba.utn.edu.ar*

*Julieta Siomara Audino. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*jaudino@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles***
***10° CoNaIISI 2022***

# Posterit-E:
# Sistema de gestión segura y soberana de la herencia digital.

**Burgués Schaab, Juan Manuel**
***Universidad Atlántida Argentina, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**[1]
*El crecimiento de los activos digitales valiosos, como criptomonedas, credenciales de acceso y documentos digitales, presenta un desafío significativo para la planificación sucesoria, donde los métodos actuales son a menudo inseguros o insuficientes, lo que resulta frecuentemente en la pérdida permanente del patrimonio. Este trabajo presenta el diseño de un sistema de legado digital seguro que garantiza la transferencia controlada de información confidencial a beneficiarios designados. Para lograrlo, se implementa una arquitectura Zero-Knowledge donde el cifrado y descifrado End-to-End (E2E) se ejecutan exclusivamente en el cliente del usuario, utilizando un protocolo basado en AES-GCM para el cifrado de datos y PBKDF2 para la derivación de claves. La liberación de los secretos se gestiona mediante un mecanismo de "interruptor del hombre muerto" configurable, y la identidad del beneficiario se verifica a traves de Autenticación Multifactor (MFA). El principal beneficio de esta solución es un método confiable, auditable, privado y fácil de utilizar para usuarios no técnicos, que ayuda a prevenir la pérdida irrecuperable de activos digitales y permite que la transferencia de los mismos sea de acuerdo a la voluntad del titular sin comprometer la seguridad de la información durante su vida.*

**Palabras Clave**
Legado Digital, Posteridad, Herencia Digital, Activos Digitales, Zero-Knowledge, Criptografía, Código Abierto, Seguridad.

## Introducción

En la era digital actual, una porción creciente del patrimonio de las personas reside en el ámbito digital. Estos incluyen desde credenciales de acceso a servicios esenciales (bancos online, correo electrónico, redes sociales), pasando por documentos importantes almacenados en la nube, hasta activos de alto valor como criptomonedas, cuyas claves privadas son la única forma de acceso. [15] La motivación para este proyecto nace de una necesidad personal: la falta de un sistema seguro para custodiar y eventualmente transferir a seres queridos activos digitales valiosos, así como documentos importantes como pólizas de seguro, contraseñas de cuentas, criptoactivos o incluso instrucciones y recuerdos personales.

El problema central que este trabajo busca resolver es la falta de mecanismos seguros, confiables y automatizados para la transferencia del legado digital [7]. A diferencia de los bienes físicos, los activos digitales están protegidos por contraseñas y cifrado, y su existencia misma puede ser desconocida para los herederos. Las soluciones improvisadas actuales, como anotar las contraseñas en papel, un email o incluso un testamento, son evidentemente inseguras y propensas a pérdida o acceso no autorizado. Por otro lado, las soluciones ofrecidas por grandes plataformas tecnológicas (como Google o Apple) son habitualmente parciales, limitadas a su propio ecosistema y requiere de la confianza ciega del usuario a la compañía que la custodia. [9, 3] De igual manera, los gestores de contraseña comerciales, si bien ofrecen funciones de acceso de emergencia, no siempre garantizan un modelo de Conocimiento Cero (Zero-Knowledge) estricto ni proveen mecanismos de

[1] Este trabajo se presenta utilizando la plantilla del 10° CoNaIISI 2022 por directrices institucionales, pero el desarrollo y la investigación corresponden al período 2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles***
***10° CoNaIISI 2022***

verificación o soluciones adaptadas a la herencia. La falta de una solución adecuada resulta en un problema real y creciente: la pérdida definitiva de posesión de activos digitales valiosos y las consecuentes pérdidas económicas significativas, en detrimento de la última voluntad del titular. [15]

Para abordar las necesidades planteadas, este trabajo presenta el diseño y la propuesta de un sistema de legado digital seguro, de código abierto y con un diseño centrado en dos objetivos principales: la privacidad y seguridad que aporta un estricto modelo criptográfico y la facilidad de uso para un público no técnico, siendo esta su contribucion principal. La solución se basa en una arquitectura de Cifrado End-To-End (E2E), donde todas las operaciones criptográficas se ejecutan únicamente en el navegador del usuario, garantizando que la plataforma actúe como un "custodio ciego", incapaz de acceder a los secretos. La liberación de la información se gestiona a través de un mecanismo de "interruptor del hombre muerto" configurable, y la identidad del beneficiario se confirma mediante Autenticación Multifactor (MFA).

A pesar de la motivación inicial, el enfoque de la solución es general, adaptándoselos a una amplia variedad de elementos digitales. Las aplicaciones prácticas son diversas: desde la transferencia segura de claves privadas de criptomonedas y contraseñas de servicios financieros, hasta la preservación de información digital sensible o recuerdos personales. Al ser un sistema agnóstico y de código abierto, busca posicionarse como una herramienta de confianza auditable para la gestión de toda la herencia digital, permitiendo la autonomía en la gestión de activos y protegiendola frente a fuerzas externas que puedan influir en ella o impedirla.

**Trabajos Relacionados**

El concepto de gestión de legado digital no es nuevo, y el mercado actual ofrece diversas soluciones que abordan esta problemática desde diferentes enfoques. Un análisis crítico de estas alternativas permite identificar las diferencias y entender la contribución de Posterit-E. Las soluciones actuales pueden agruparse en tres categorías principales.

La primera corresponde a **Gestores de Contraseñas** que han extendido su funcionalidad para incluir acceso de emergencia o herencia. Servicios como 1Password, Keeper Security y LastPass [1, 13, 14] permiten a un usuario designar contactos de confianza que, tras un período de inactividad predefinido, pueden solicitar acceso a la bóveda de secretos. Si bien estas soluciones son similares, se advierten diferencias fundamentales. El enfoque principal de estas aplicaciones no es la herencia digital, por lo que la verificación del beneficiario a menudo carece de autenticación multifactor (MFA). Además, la implementación propuesta por Posterit-E, con enfoque en el código abierto y una gestión de claves explícita segura, busca no solo ofrecer garantías de privacidad fuertes sino también auditables.

La segunda categoría está conformada por los **Servicios Dedicados de Legado Digital**, como Clocr, GoodTrust o Everplans. [6, 8, 10] Estas plataformas están diseñadas para este propósito y permiten almacenar una gama de información más amplia, incluyendo documentos legales y deseos post mortem. **Dentro de este grupo, destaca el servicio Hereditas, que comparte un enfoque técnico similar basado en el principio de**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles 10° CoNaIISI 2022***

**Zero-Knowledge**. [11] Si bien el objetivo central de todos estos servicios es similar, el principal diferenciador del presente continúa siendo la combinación de sus garantías de seguridad: un estricto modelo E2E y ZK que es, además, auditable públicamente gracias a su naturaleza de Código Abierto (OpenSource). Adicionalmente Posterit-E busca proponer una experiencia simplificada **para usuarios con pocos o nulos conocimientos técnicos** evitando la necesidad de desplegar archivos de confirguración en servicios de almacenamiento en la nube, lo que representa un enfoque estratégico clave de diferenciación.

Por último, las grandes **Plataformas Tecnológicas** como Google y Apple ofrecen funcionalidades nativas para la gestión de cuentas inactivas. Permiten a los usuarios designar contactos que pueden solicitar acceso a ciertos datos tras un período de inactividad o la presentación de documentación legal, como un certificado de defunción. Posterit-E innova por la **naturaleza de la verificación**, basándola exclusivamente en mecanismos digitales y configurables por el usuario (temporizador, MFA y a futuro posibles check-ins del titular), garantizando que los secretos sean entregados únicamente a la persona designada bajo las condiciones esperadas. Por otro lado, el **Control y la Privacidad** está priorizado; mientras que en las plataformas de las "Big Tech" los datos pueden ser potencialmente accedidos por estas, o por disposición de autoridades gubernamentales que así lo determinen, Posterit-E es un custodio ciego de los activos, dando tranquilidad al titular de que sus datos no pueden ser accedidos por nadie más.

**Diseño de la Solución Propuesta**

A continuación, se describe en detalle la propuesta técnica. Se presentará la arquitectura, el protocolo criptográfico que garantiza la seguridad, la especificación de la interfaz de programación de aplicaciones

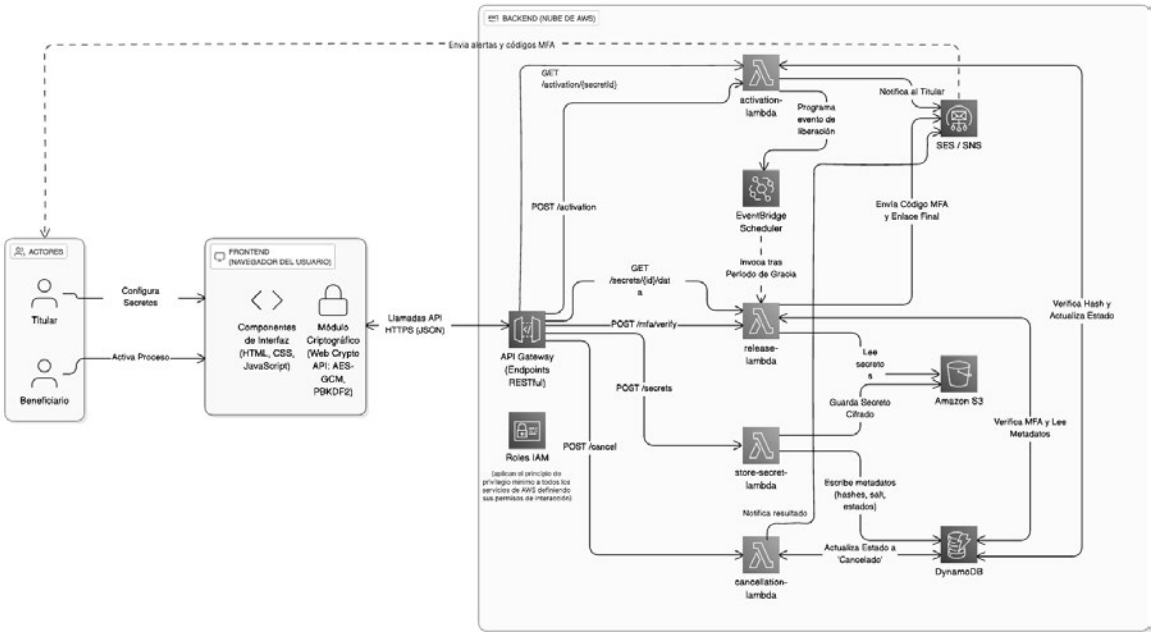



Figura 1. Diagrama de Arquitectura de Componentes, mostrando la interacción entre los actores, el frontend del cliente y los servicios del backend en AWS.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles 10° CoNaIISI 2022***

(API) y el diseño de la base de datos que soporta la persistencia de la información.

**Diseño de la Arquitectura**

La arquitectura del sistema se fundamenta en los principios de un diseño serverless moderno, basado en eventos y desacoplado, utilizando servicios gestionados de Amazon Web Services (AWS). [2] Esta elección maximiza la eficiencia de costos durante la etapa de MVP a la vez que garantiza la escalabilidad y resiliencia, permitiendo enfocarse en la lógica del negocio y la seguridad. [5] A su vez, su enfoque modular facilita una eventual migración a una arquitectura de microservicios que permita la escalabilidad horizontal. Como se ilustra en la ***Figura 1***, la arquitectura se divide en tres capas principales, el Cliente, la Capa de API y el Backend.

El **Frontend del Cliente,** ejecutado en el navegador del usuario, es responsable de la interfaz y de la ejecución de todo el protocolo criptográfico de forma local. El **Backend Serverless** se compone de un conjunto de servicios gestionados: **AWS Lambda** para la lógica de negocio, **Amazon API Gateway** como fachada pública segura, **Amazon EventBridge Scheduler** para la orquestación de eventos temporales como el período de gracia, y **Amazon SES/SNS** para las notificaciones. La seguridad a nivel de infraestructura se garantiza mediante **AWS IAM,** aplicando el principio de privilegio mínimo a cada componente, una práctica de seguridad estandar en la industria.

**Protocolo de Seguridad y Criptografía**

El pilar del sistema es su protocolo de seguridad, diseñado bajo los principios de **Cifrado End-To-End (E2) y Zero-Knowledge (ZK).** Para lograrlo, se implementa una técnica de **cifrado de sobre (envelope encryption)**[2] cuyo flujo detallado se ilustra en la ***Figura 2.***

El proceso se ejecuta enteramente en el cliente y comienza con la generacion de una clave de datos única y efímera **(DEK)** para cada secreto. El contenido del secreto se cifra utilizando esta DEK con el algoritmo **AES-GCM de 256 bits.** Cada operacion de cifrado emplea un **Vector de Inicialización (IV o Nonce)** único de 12 bytes generado de forma aleatoria, lo cual es un requisito crítico para garantizar tanto la confidencialidad como la integridad de la información [12]. Para proteger la DEK sin almacenarla en claro, se deriva una clave de cifrado de claves **(KEK)**, denominada "Instruction Key", a partir de la contraseña de recuperación del beneficiario (aportada por el titular). Esta derivación se realiza de forma segura utilizando **PBKDF2** con 600.000 iteraciones y una sal de 128 bits[3] para maximizar su resistencia a ataques de fuerza bruta [15]. La DEK es entonces cifrada con esta KEK, utilizando también un V.I. único para esta operación.

Para fortalecer aún más la defensa del secreto, es recomendable que la interfaz de usuario guíe al titular en la creación de una contraseña de recuperación con alta entropía (longitud y combinación de caracteres) o, como alternativa superior,

[2] La técnica de cifrado de sobre es un patrón estándar para el cifrado de datos en sistemas distribuidos. Para un tratamiento formal del concepto, ver Hirose, Kazuhiko (2023) [4]. Nótese que, a diferencia de esta técnica, la implementación en Posterit-E deriva la KEK exclusivamente en el cliente a partir de un secreto del usuario, evitando delegar la custodia de las claves al sistema.

[3] Aunque Argon2id ofrece mayor resistencia contra ataques acelerados por hardware (GPU/ASIC), se optó por PBKDF2 para el prototipo funcional (MVP) debido a su implementación nativa y estandarizada en la Web Crypto API de los navegadores. Esta decisión evita añadir dependencias externas complejas, manteniendo el enfoque en el flujo E2E.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles***
***10° CoNaIISI 2022***

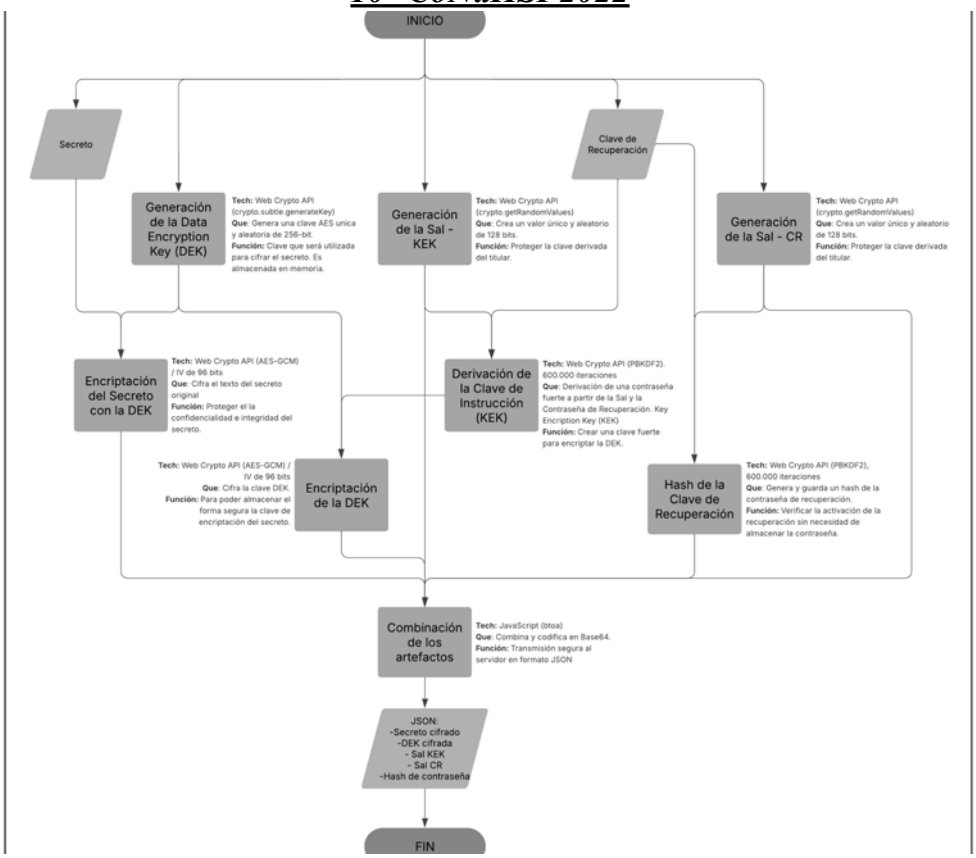



Figura 2. Flujo del Cifrado E2E en el Cliente del Titular, mostrando la generación y protección de la DEK y la KEK.

considere la implementación de una frase mnemotécnica según el estándar BIP39, que genera una secuencia de 12 a 24 palabras. Esta frase es significativamente más fácil de anotar, resguardar y transcribir sin errores, lo que reduce la probabilidad de pérdida. Adicionalmente, se debe considerar que la unicidad del IV es un requisito crítico de AES-GCM siendo que su reutilización con una misma clave anularía las garantías de seguridad. En este proyecto cada IV se genera utilizando la función *crypto.getRandomValues()* de la Web Crypto API, la cual provee una fuente de aleatoriedad segura, minimizando el riesgo de colision.

**Especificación de la API REST**

Para la comunicación entre el cliente y el backend, se ha definido un contrato de API REST utilizando la especificación **OpenAPI 3.0.** La siguiente tabla resume los endpoints principales del sistema..

| MÉTODO | ENDPOINT | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| POST | /secrets | Almacena un nuevo secreto cifrado por el Titular. |
| GET | /activation/{secretId} | Obtiene la sal necesaria para generar el hash de la contraseña. |
| POST | /activation | Verifica el hash para iniciar el proceso. |
| POST | /cancel | Permite al Titular cancelar un proceso de recuperación activo. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# *Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles 10° CoNaIISI 2022*

| MÉTODO | ENDPOINT | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| POST | /mfa/verify | Verifica el código MFA del Beneficiario para autorizar la liberación. |
| GET | /secrets/{secretId}/data | Entrega el payload cifrado al Beneficiario tras una verificación exitosa. |

Tabla 1. Especificación API REST (OpenAPI 3.0)

**Diseño de la Base de Datos**

Se ha optado por **Amazon DynamoDB**, una base de datos NoSQL, para la persistencia de los metadatos. [2] Se utiliza un **diseño de tabla única** para optimizar el rendimiento. La estructura agrupa todos los datos relacionados con un secreto bajo una misma Clave de Partición (*PK: SECRET#<secretId>*), utilizando la Clave de Ordenación (*SK*) para diferenciar entre el ítem de configuración (*CONFIG*) y los tokens de acceso (*TOKEN#...*). Esta separación permite aplicar políticas de IAM más especificas, mejorando la seguridad. Para soportar la validación de tokens de acceso, se ha definido un índice Secundario Global (*TokenIndex*).

**Flujos de Interacción Principales**

Para ilustrar la interacción entre los actores y los componentes del sistema, la **Figura 3** presenta un diagrama de secuencia que abarca el ciclo de vida completo de un secreto. El diagrama se divide en dos fases principales: el flujo de configuración segura por parte del Titular y el flujo de recuperación controlada por parte del Beneficiario.

La primera parte del flujo muestra cómo el **Titular** utiliza su frontend para realizar el cifrado End-to-End de forma local y enviar el payload seguro al backend. Este proceso finaliza con la generación de las instrucciones de recuperación, cuya entrega al beneficiario es gestionada por el titular por fuera del sistema.[4]

La segunda parte detalla el **proceso de recuperación**, que es el caso de uso central del sistema. Este comienza con la activación or parte del **Beneficiario**, seguido por la notificación al Titular y la programación de un evento en EventBridge. Una vez transcurrido el período de gracia sin cancelación activa por parte del Titular, el sistema inicia la verificación MFA con el Beneficiario. Si esta es exitosa, se le envía un enlace seguro de un solo uso que le permite solicitar el payload cifrado y realizar el descifrado de forma completamente local en su navegador, completando así el ciclo de herencia digital de forma segura y privada.

**Resultados y Estado del Prototipo**

Para validar la arquitectura y el protocolo criptografico propuestos, se desarrolló un Prototipo Funcional (MVP) desplegado en la nube de AWS. El estado actual del proyecto se encuentra entre la finalización de la fase de desarrollo y el comienzo de la fase de pruebas y refinamiento.

El prototipo implementa exitosamente el flujo de vida completo de un secreto:

1. **Frontend del Titular:** Una aplicación web estática (desarrollada con Vite y JavaScript vanilla, alojada en AWS Amplify) permite al usuario introducir un secreto y una constraseña de recuperación. El módulo criptografico, utilizando la Web Crypto API, realiza el cifrado en el navegador y envía el payload seguro al backend.
2. **Backend Serverless:** La infraestructura en AWS (API Gateway, Lambda,

[4] Este es un factor de debilidad interno del sistema el cual puede mitigarse instruyendo al usuario con mejores prácticas en el resguardo de las instrucciones o una posterior actualización del diseño.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles 10° CoNaIISI 2022***

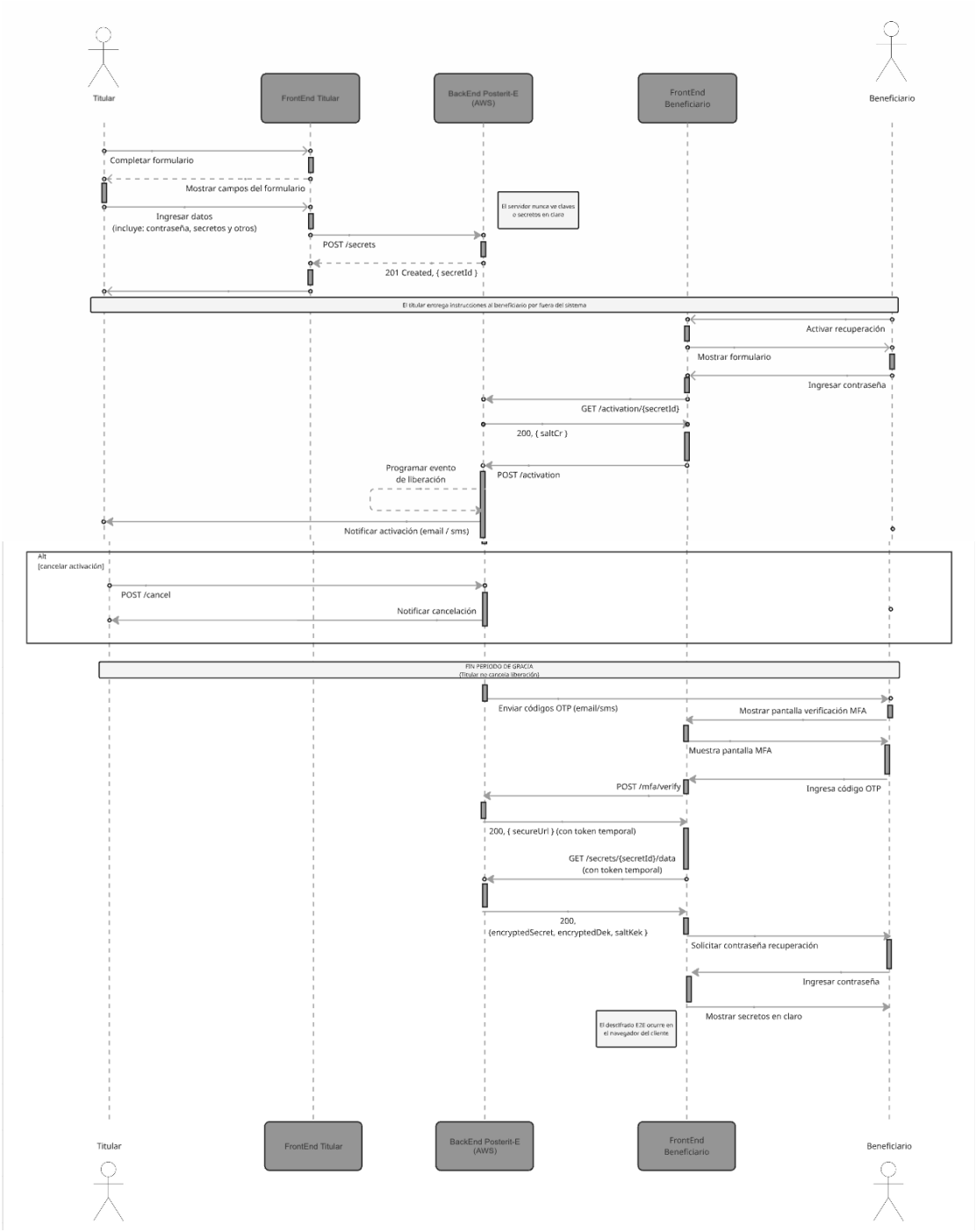



Figura 3. Diagrama de Secuencia del Ciclo de Vida del Secreto

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles 10° CoNaIISI 2022***

DynamoDB, S3) almacena de forma segura los artefactos cifrados, respetando el principio ZK.

3. **Flujo del Beneficiario:** Se ha implementado una segunda aplicación web que permite al beneficiario, utilizando el *secretId* y la contraseña de recuperación, iniciar el proceso de activación, recibir la sal del backend, calcular el hash de verificación localmente y, tras un período de gracia, recibir y descifrar el secreto.

Como resultado, se valida el diseño eficiente y que el protocolo criptográfico E2E/ZK es factible de implementar utilizando tecnologias web estándar, logrando así los objetivos principales del MVP.

**Conclusiones**

Posterit-E es un sistema de legado digital que aborda la creciente necesidad de transferir activos digitales de forma segura y controlada. Naciendo de la preocupación personal por asegurar activos autocustodiados de alto valor, como las claves de billeteras de criptomonedas, el proyecto se propuso crear una solución que ofreciera **tranquilidad a través de garantías matemáticas en lugar de confianza ciega en un proveedor**.

La arquitectura serverless, el protocolo de Cifrado End-to-End y el modelo de Conocimiento Cero (Zero-Knowledge) son la respuesta técnica a este desafío, asegurando que ni siquiera los administradores de la plataforma puedan acceder a la información confidencial del usuario. Este enfoque devuelve el control total al titular y mitiga el riesgo de exposición de datos por brechas en el servidor o acceso interno no autorizado.

Respecto a la decisión de optar por Código Abierto (Open Source) demuestra que el sistema no se limita a una promesa de seguridad, sino que la somete a la auditoría pública, un punto fuerte para generar la confianza necesaria en aquella persona que decide custodiar información tan crítica como las claves privadas de criptoactivos. Queda demostrado entonces que es posible diseñar un sistema que, a pesar de su complejidad criptográfica interna, presenta flujos de interaccion que minimizan la carga cognitiva del usuario en todas las fases del proceso.

**Limitaciones y Trabajos Futuros**

A pesar de la robustez del diseño, el prototipo funcional presenta ciertas limitaciones. La seguridad del sistema se ve debilitada por algunos factores internos y amenazas externas que definen los puntos a tener en cuenta para futuras modificaciones.

La principal debilidad del sistema reside en su dependencia de factores humanos, como la gestión segura de las instrucciones de recuperacion por parte del titular. Así tambien, el mecanismo de verificacion del estado del titular, aunque funcional, puede mejorarse para evitar el riesgo de liberaciones prematuras o no deseadas. A esto se suman vectores de ataque a nivel del cliente. El compromiso del dispositivo del titular o beneficiario mediante malware podría permitir la intercepción de la contraseña antes de ser procesada por la Web Crypto API. Investigaciones futuras deben analizar estos factores y buscar propuestas concretas para mitigarlos tales como la implementacion de esquemas de Division de Secretos o la integracion con autenticación basada en hardware (WebAuthn).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles 10° CoNaIISI 2022***

Externamente, la amenaza más relevante es la competencia de soluciones ya establecidas por gigantes tecnológicos y el desafío de ganar la confianza de usuarios, en especial los no técnicos, para custodiar sus activos sensibles.

Por otra parte, el prototipo actual presenta algunas simplificaciones de alcance. Primero, se centra en el caso de uso de un único beneficiario por secreto. Segundo, en un estricto modelo ZK, la plataforma no puede recuperar la contraseña del titular si este la olvida. Siendo que la primera podría extenderse en futuras mejoras, la segunda es una decision de diseño deliberada para garantizar la máxima soberania y seguridad, pilares de la propuesta.

Algunas oportunidades de mejora pueden centrarse en la implementación de criptografia asimétrica, donde la clave de descifrado final dependa de una clave privada del beneficiario, eliminando la necesidad de compartir una contraseña. Asimismo surge la necesidad de evaluar la implementación de mejoras como **check-ins periódicos** por parte del titular que aporten una "prueba de vida" o bien la adición de un "**quorum de verificadores**" donde personas de confianza deban validar la incapacidad o el fallecimiento del titular.

Por último, el desarrollo de **una interfaz de usuario completa e intuitiva** en conjunto con una **capacitacion guiada** del usuario podrían aportar la confianza requerida para mitigar la falencia antes mencionada.

**Referencias**

1. 1Password. (n.d.). 1Password Security Design. Recuperado el 4 de abril de 2025 de https://1password.com/files/1Password%20White%20Paper.pdf

2. Amazon Web Services. (2024). Security best practices for DynamoDB. AWS Documentation. Recuperado el 6 de abril de 2025, de https://docs.aws.amazon.com/amazondynamodb/latest/developerguide/best-practices-security.html

3. Apple Inc. (s.f.). How to add a Legacy Contact for your Apple ID. Apple Support. Recuperado el 7 de abril de 2025, de https://support.apple.com/en-us/102631

4. Shoichi H., Kazuhiko M. (2023). A Formal Treatment of Envelop Encryption IACR ePrint Archive, 2023/1727. Recuperado el 18 de junio de 2025 de https://eprint.iacr.org/2023/1727

5. Brown, B. (2025). Serverless architectures for scalable cloud-based microservices: Performance and cost trade-offs. Recuperado el 18 de junio de 2025 de https://www.researchgate.net/publication/393453501_Serverless_Architectures_for_Scalable_Cloud-Based_Microservices_Performance_and_Cost_Trade-Offs

6. Clocr Inc. (s.f.). Clocr - Your digital legacy partner. Recuperado el 4 de abril de 2025, de https://www.clocr.com/

7. Angel M. (n.d.). Decoding Cryptocurrency Taxes: The challenges for Estate Planners. Duke Law & Technology Review. Recuperado el 18 de junio de 2025 de https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1385&context=dltr

8. Everplans. (s.f.). Get organized. Share securely. Plan ahead. Recuperado el 4 de abril de 2025, de https://www.everplans.com/

9. Google. (s.f.). About Inactive Account Manager. Google Account Help. Recuperado el 4 de abril de 2025, de https://support.google.com/accounts/answer/3036546

10. GoodTrust. (s.f.). Secure your digital legacy. GoodTrust - Digital Legacy & Estate Planning. Recuperado el 4 de abril de 2025, de https://mygoodtrust.com/

11. Hereditas. (2025). Hereditas.app. Recuperado el 31 de Mayo de 2025, de https://hereditas.app/

12. Internet Research Task Force (IRTF). (2019). AES-GCM-SIV: Nonce misuse-resistant authenticated encryption (Request for Comments No. 8452). Recuperado el 18 de junio de 2025 de https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8452

13. Keeper Security, Inc. (s.f.). Emergency access. Keeper Documentation. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de https://docs.keeper.io/en/user-guides/emergency-access

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Formato para la presentación de Trabajos Estudiantiles***
***10° CoNaIISI 2022***

14. LastPass Support. (s.f.). LastPass emergency access. Recuperado el 5 de abril de 2025, de https://support.lastpass.com/help/lastpass-emergency-access-lp060002

15. Witayapaisitsan, N., & Thitithanaphat, A. (2025). Digital asset adoption in inheritance planning: Evidence from Thailand. Journal of Risk and Financial Management, 18(6), 330. Recuperado el 18 de junio de 2025 de https://doi.org/10.3390/jrfm18060330

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aplicación móvil para la planificación de comidas que evalúa la coherencia entre las metas nutricionales de las personas y sus elecciones alimentarias

**París, Rocío**
***Universidad Atlántida Argentina, Facultad de Ingeniería***

**Resumen**
*La alimentación juega un papel fundamental en la salud, ya que impacta directamente en el cumplimiento de metas nutricionales orientadas a mantener o mejorar el bienestar de las personas. Muchos individuos utilizan aplicaciones móviles para planificar sus comidas y que, en base a ello, se generen listas de compras. Sin embargo, estas herramientas no garantizan coherencia entre las elecciones alimentarias de las personas y sus metas nutricionales, lo que puede traducirse en un uso ineficiente de recursos al invertirlos en comidas que no contribuyen al cumplimiento de estas metas. Este proyecto propone una aplicación móvil que evalúa, mediante lógica difusa, dicha coherencia antes de emitir la lista de compras, basándose en recomendaciones científicas. La solución busca orientar la planificación alimentaria hacia objetivos personales de manera fundamentada, mejorando el impacto real de las decisiones alimentarias cotidianas.*

**Palabras Clave**
Aplicación móvil, Planificación de comidas, Generación automática de listas de compras, Optimización de recursos, Metas nutricionales

## 1. Introducción

El uso de aplicaciones móviles orientadas a la planificación de comidas está creciendo notablemente [3, 14, 32, 40, 42]. Estas incluyen características que pretenden ayudar a las personas a mantener una alimentación saludable, como las estadísticas de progreso y la información nutricional de las recetas. Sin embargo, según un estudio, el 75% de las personas no comprende la totalidad de la información nutricional de las recetas, por lo que no resulta suficiente para evaluar la coherencia con sus metas [41]. Además, reseñas de personas usuarias a algunas de estas aplicaciones indican que las mismas ofrecen información nutricional incorrecta [42]. En cuanto a las estadísticas de progreso, estas se generan después de la ingesta de las comidas planificadas. Como consecuencia, las personas pueden invertir recursos en la compra, preparación y consumo de alimentos que no contribuyen al cumplimiento de sus metas.

En respuesta a ello, surge la necesidad de desarrollar una aplicación móvil cuya característica principal sea evaluar la coherencia entre las metas nutricionales de las personas con las comidas que planifiquen, antes de que se genere la lista de compras. Esto tendrá el fin de evitar que las personas usuarias destinen recursos a alimentos que no contribuyan al cumplimiento de sus metas. Las mismas podrán definirse mediante un cuestionario inicial opcional de dos preguntas. Sin embargo, en caso de no completarse dicho cuestionario, igualmente será posible planificar comidas y generar listas de compras.

Para ello, se aplicará lógica difusa mediante un sistema de inferencia difusa tipo Mamdani (FIS Mamdani). Este modelo, ampliamente aceptado, permite razonar de forma intuitiva utilizando reglas del tipo “IF-THEN”, lo cual facilita la interpretación de los resultados por parte de personas usuarias [11].

Las reglas mencionadas serán formuladas principalmente a partir de las Guías Alimentarias para la Población Argentina, un documento técnico-metodológico elaborado por múltiples entidades especializadas en nutrición [30]. De manera complementaria, se consultarán libros acerca de salud y alimentación [6, 8, 25].

La lógica difusa permite razonar con información imprecisa o ambigua, lo cual

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



se ha comprobado que presenta utilidad en la toma de decisiones alimentarias, donde intervienen múltiples factores como preferencias personales, hábitos y metas nutricionales [3, 5, 36]. En este contexto, la misma permitirá representar niveles de coherencia entre estas metas y las elecciones alimentarias en una escala del 0 al 1, en lugar de una evaluación binaria, lo cual se ajusta a la complejidad de dichas decisiones.

En los siguientes apartados se explicarán aspectos relevantes del proyecto, como su viabilidad, objetivos, marco teórico, metodología adoptada, alcance y límites, análisis FODA, planificación, las actividades realizadas hasta el momento dentro de la etapa de Ejecución (específicamente, la Elicitación y el Análisis de requerimientos), y prototipos de interfaces gráficas de usuario. Posterior a ello, se analizarán trabajos relacionados y, finalmente, se expondrán las conclusiones obtenidas junto con posibles líneas de trabajo futuro.

## 2. Viabilidad del proyecto

Se ha decidido desarrollar una aplicación móvil, ya que este mercado está en auge en la actualidad [12]. Asimismo, se ha optado por desarrollar la aplicación para el sistema operativo Android, dado que es el que tiene más cantidad de usuarios [39]. Estos datos sugieren que la aplicación tiene más posibilidades de alcanzar un público amplio.

Para determinar si el proyecto es factible, se tuvo en cuenta la viabilidad operativa, técnica, económica y la disponibilidad de la información.

En cuanto a la viabilidad operativa, este proyecto se está desarrollando individualmente. Se tienen todos los conocimientos necesarios y se dispone de suficiente tiempo para concluirlo en el plazo establecido.

Luego de publicar la aplicación, la persona a cargo del proyecto será la encargada de administrarla en un principio. Posteriormente, se contratará un servicio de mantenimiento técnico.

Sobre la viabilidad técnica, se implementará el *front-end* en Kotlin, utilizando el entorno de desarrollo Android Studio [20, 21].

Por otro lado, se implementará el *back-end*, basado en lógica difusa, en Python, utilizando el entorno de desarrollo Visual Studio Code [28, 34]. Esto se debe a la amplia disponibilidad en Python de librerías especializadas en lógica difusa.

Para aspectos como la autentificación de usuarios, base de datos y sincronización entre distintos dispositivos, se utilizará Firebase [18].

Las tecnologías mencionadas son ampliamente utilizadas y poseen una documentación detallada.

Para que la información necesaria esté disponible, se integrará la interfaz de programación de aplicaciones (API) de recetas Spoonacular, la cual ofrece una variedad de más de cinco mil recetas [37]. Para no depender únicamente de esta fuente, se incluirá en la aplicación una función para que las personas agreguen sus recetas.

Se tiene acceso a la documentación científica mencionada, que funcionará como referencia para obtener reglas a partir de recomendaciones nutricionales [30].

Por último, en cuanto a la viabilidad económica del proyecto, Android Studio permite simular la solución en diferentes tipos de dispositivos. Esto evitará la necesidad de considerar costos para la adquisición de dichos dispositivos de manera física en la etapa de prueba.

La publicación de la aplicación en Google Play Store tiene un costo único de 25 USD, que será cubierto mediante aporte personal [17].

El uso de las tecnologías mencionadas es gratuito. Luego de la publicación de la aplicación, en cuanto a Firebase y Spoonacular, a medida que crezca la demanda, se migrará a los planes de pago, que permitirán la adaptación a la misma.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se seguirá el modelo *freemium*. La inclusión de anuncios en la versión gratuita mediante AdMob, la versión de pago, y aportes personales permitirán cubrir los gastos que se presentarán luego de la publicación de la aplicación [19].

## 3. Objetivos del proyecto

El **objetivo general** del proyecto es desarrollar una aplicación móvil que permita a las personas planificar comidas en función de sus metas nutricionales y generar automáticamente listas de compras.
Para poder cumplir con este objetivo, el mismo se desglosó en 4 (cuatro) **objetivos específicos**, los cuales son:

- Implementar un cuestionario opcional para que las personas definan sus metas y necesidades nutricionales.
- Permitir la búsqueda, visualización, adición y planificación de comidas.
- Desarrollar una funcionalidad que permita generar automáticamente una lista de compras según las comidas planificadas.
- Implementar un módulo de lógica difusa que utilice recomendaciones nutricionales para evaluar el grado de coherencia entre las comidas que una persona planifique y sus metas.

## 4. Marco teórico

La planificación de comidas consiste en decidir con anticipación de alimentos se consumirán en un período de tiempo específico [10]. Esta práctica tiene ventajas como mejorar la organización y evitar el desperdicio de alimentos [3, 9, 10, 13, 29].

"Una meta nutricional es un objetivo específico y medible que se establece para mejorar la salud y el bienestar físico a través del consumo de una dieta equilibrada y adecuada" [9]. Estas metas están respaldadas por recomendaciones científicas provistas por fuentes oficiales, las cuales servirán como referencia para evaluar si las elecciones alimentarias de las personas se alinean con sus metas [9, 30].

"La lógica difusa se basa en el concepto de conjuntos difusos, donde los elementos tienen grados de pertenencia en el intervalo [0,1], en lugar de pertenencia binaria como en los conjuntos clásicos" [33]. Las reglas difusas combinan uno o más conjuntos difusos de entrada (antecedentes, IF), y los relacionan con un conjunto difuso de salida (consecuente, THEN), permitiendo expresar el conocimiento sobre la relación entre variables. Este conocimiento se formaliza mediante una base de reglas, compuesta por múltiples proposiciones del tipo IF-THEN. En la solución propuesta se utilizará un FIS Mamdani, que interpretará dichas reglas para evaluar el grado de coherencia entre las comidas que la persona está planificando y sus metas, según guías científicas [26, 30].

## 5. Metodología

Se decidió utilizar Kanban como metodología de desarrollo, adaptada a la naturaleza individual del proyecto. Esta es una técnica de gestión visual de trabajo basada en tarjetas [1]. Se está utilizando Trello para organizar las mismas y visualizar el proceso de desarrollo [4]. Kanban tiene ventajas como no requerir una planificación detallada desde el inicio y permitir la adaptación a cambios, lo cual es ideal para proyectos individuales [1].

Como metodología del proyecto, se está utilizando un desarrollo iterativo, lo que permite mejoras y ajustes continuos.

## 6. Definición de alcance y límites

La aplicación móvil incluirá funcionalidades tales como: un cuestionario opcional para identificar las necesidades y hábitos alimenticios de las personas; la búsqueda, visualización, agregado y planificación de comidas; la evaluación de la coherencia entre las comidas planificadas y metas nutricionales según documentación científica; y la generación automática de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



listas de compras derivadas de la planificación.

Es importante destacar que la aplicación no proporcionará asesoramiento médico. Por lo cual, se recomienda que las personas usuarias consulten a un profesional antes de consumir recetas recomendadas o llevar a cabo determinado hábito alimenticio.

Además, no se considera la integración con API's de supermercados, por lo que no se detallarán precios de los alimentos a comprar ni tiendas donde puedan conseguirse.

Por otra parte, esta aplicación solamente hará enfoque en la alimentación, sin contemplar otros factores que influyen significativamente en la salud, como el ejercicio físico.

## 7. Análisis FODA

Se ha realizado un análisis FODA, el cual consiste en considerar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto. El mismo se muestra en la Figura 1.




**Figura 1: Análisis FODA preliminar**

## 8. Planificación del proyecto

Para planificar este proyecto, se confeccionó en un tablero de Trello la organización de las actividades del mismo. Según esta planificación, se prevé concluir con el desarrollo en el mes de febrero del 2026. En la Figura 2, se puede observar la planificación del proyecto a alto nivel.

Las siguientes etapas fueron definidas según las fases formuladas por Maigua y López, adaptadas a las características y el contexto del presente trabajo [24].

### 8.1. Primera etapa: Ante-proyecto

Confección de un documento en donde se clarifiquen aspectos fundamentales como la problemática a resolver, la justificación del proyecto, la viabilidad, el objetivo general y los específicos, entre otros.

### 8.2. Segunda etapa: Planeación

- Inicio y definición del problema: Identificar a todas las partes interesadas. Definir alcance, límites y objetivos. Realizar el análisis FODA.
- Planificación: Detallar tareas, subtareas, duraciones, hitos y recursos necesarios. Realizar la gestión de riesgos.

### 8.3. Tercera etapa: Ejecución

- Análisis del sistema: Definir el contexto actual, las necesidades de las personas involucradas y la funcionalidad del *software*.
- Diseño del sistema: Definir la comunicación entre los componentes del *software*, describir la interacción del mismo con las personas usuarias y diseñar los prototipos de interfaces gráficas.
- Implementación: Construir el *front-end* y el *back-end*. Crear una API REST para la comunicación entre ambas capas. Considerar mecanismos de seguridad y privacidad para proteger los datos sensibles de las personas usuarias.
- Prueba: Verificar el correcto funcionamiento del *software* y evaluar su calidad general.
- Despliegue: Publicar la aplicación móvil en Google Play Store, permitiendo su disponibilidad.

### 8.4. Cuarta etapa: Mantenimiento

Optimizar el *software*, haciendo las modificaciones que sean necesarias.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



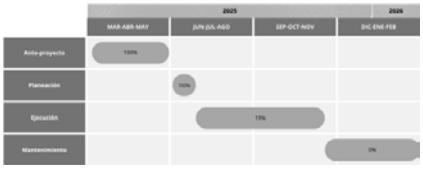



**Figura 2: Planificación del proyecto a alto nivel**

## 9. Elicitación de requerimientos

Una vez finalizada la etapa de Planeación del proyecto, se dio inicio a la Ejecución, comenzando por la actividad de Análisis del sistema. Dentro de esta, la primera actividad correspondiente a la Ingeniería de requerimientos fue la Elicitación de requerimientos. Esta actividad consiste en recolectar la información necesaria para identificar y entender las necesidades y restricciones del *software*.

Inicialmente, se preveía trabajar con varias personas, pero tras evaluar el alcance del proyecto, la disponibilidad de participantes y la profundidad que podía alcanzarse, se optó por trabajar con una usuaria potencial (Usuaria1). Además, dado que la persona responsable de este proyecto (Usuaria2) es parte del público objetivo, también se complementó esta etapa con su perspectiva. Esto permitió un proceso de elicitación más cercano, iterativo y completo.

Como primer paso de esta etapa, se le envió a Usuaria1 un formulario previo a la entrevista, cuyo fin fue reunir datos para permitir que la entrevista sea más útil y enfocada. Además, en el mismo, se solicitaron autorizaciones para grabar audio de la entrevista y para incluirla como material anexo a la documentación de esta etapa.

En la fase de planificación de la entrevista se profundizó en el conocimiento del dominio, se estableció el objetivo de la entrevista, se planificaron las preguntas y se indicó el tipo de entrevista. La misma fue realizada a Usuaria1 el jueves 4 de julio del 2025. Al día siguiente, la misma entrevista fue completada por Usuaria2.

Antes de concluir la etapa de Elicitación de requerimientos con su correspondiente documentación, debido a la poca cantidad de potenciales usuarias con las que se trabajó, se decidió realizar una búsqueda de requerimientos en fuentes como libros acerca de nutrición, documentos de organismos oficiales, aplicaciones similares y regulaciones [2, 3, 5, 6, 7, 8, 14, 23, 25, 27, 30, 31, 36, 40, 42].

## 10. Análisis de requerimientos

Esta actividad consiste en refinar, analizar y examinar los requerimientos obtenidos para asegurar que las usuarias potenciales entienden lo que pidieron, y para encontrar errores, omisiones y otras deficiencias.

En primer lugar, se han clasificado los requerimientos obtenidos en funcionales y no funcionales. Aquellos no funcionales se desglosaron en requerimientos de usabilidad, de rendimiento, de portabilidad, de interfaz de usuario, de confiabilidad, y legales.

Posteriormente, se organizaron visualmente los distintos módulos funcionales y características principales de la aplicación, lo que permitió identificar los núcleos temáticos de la aplicación, sus funcionalidades relacionadas, y cómo se conectan entre sí.

Luego, se procedió a la asignación de requerimientos a los módulos correspondientes del sistema, permitiendo así establecer una arquitectura preliminar del mismo.

Por último, se llevó a cabo la actividad de negociación de requerimientos, la cual consiste en identificar y resolver posibles conflictos, ambigüedades o inconsistencias entre los requerimientos recopilados, con el fin de asegurar su factibilidad y alineación con los objetivos del proyecto.

## 11. Prototipos de interfaces gráficas de usuario

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A continuación, se mostrarán los prototipos de interfaces gráficas, con el objetivo de ilustrar el flujo de la aplicación. Los mismos fueron realizados en draw.io, una herramienta ampliamente utilizada para diagramación [22]. Las imágenes que se observan en los prototipos fueron obtenidas de la página Freepik [16]. Sin embargo, no necesariamente se utilizarán para la interfaz gráfica final de la aplicación.

Al registrarse en la aplicación, la persona podrá visualizar una pantalla (Figura 3) que, brevemente, enuncia los objetivos del cuestionario. El mismo contiene dos preguntas: la primera para indicar metas nutricionales (Figura 4), y la segunda para indicar comidas diarias (Figura 5).

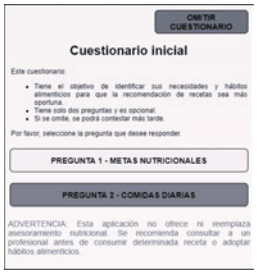



**Figura 3: Cuestionario (Prototipo IGU)**




**Figura 4: Metas nutricionales (Prototipo IGU)**

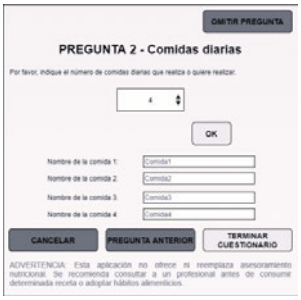



**Figura 5: Comidas diarias (Prototipo IGU)**

Al finalizar el cuestionario, se podrá observar la pantalla de inicio, la cual puede verse en la Figura 6. Por medio de ella, se accederán a funciones como la búsqueda, la visualización y la planificación de comidas, y la obtención de la lista de compras.




**Figura 6: Pantalla de inicio (Prototipo IGU)**

Desde esta pantalla, se podrán planificar comidas arrastrando una receta determinada del panel superior “Recetas” y soltándola en una fecha del calendario del panel inferior “Planificador”. Sin embargo, cabe destacar que la planificación también puede realizarse seleccionando un botón desde la pantalla de resultados de la búsqueda, desde una receta en específico y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



desde el apartado “Mis recetas”, donde se muestran las recetas agregadas por la persona usuaria.

Al soltar la receta, la aplicación indicará qué grado de coherencia, del 0% al 100%, tiene la comida planificada con las metas nutricionales seleccionadas por la persona usuaria. Esto puede observarse en la Figura 7.




**Figura 7: Coherencia nutricional (Prototipo IGU)**

Al seleccionar el botón “OBTENER LISTA DE COMPRAS”, se le solicitará a la persona usuaria que seleccione un intervalo de fechas, de modo que las recetas en dicho intervalo se agregarán a la lista de compras. Al aceptar, se mostrará un mensaje de éxito indicando que puede ver la lista de compras generada ahora, o más tarde en el apartado “Mis listas de compras”. La lista de compras generada se mostrará tal como se ilustra en la Figura 8.




**Figura 8: Lista de compras (Prototipo IGU)**

## 12. Trabajos Relacionados

Aplicaciones móviles como Samsung Food, Fitia y Meal Planner & Recipe Keeper permiten establecer metas nutricionales, planificar comidas y generar automáticamente listas de compras. Sin embargo, no contemplan un análisis que verifique si las comidas seleccionadas contribuyen efectivamente al cumplimiento de dichas metas, lo cual limita su potencial como herramienta de apoyo nutricional personalizado [15, 35, 38].

Por otro lado, estudios han evaluado la utilización de la lógica difusa para ofrecer recomendaciones de dietas alineadas con las metas nutricionales de las personas, basándose en datos científicos. Estos estudios han demostrado efectividad al evaluar distintos escenarios alimentarios y sugerir opciones acordes a los objetivos personales [3, 5].

La aplicación móvil propuesta se diferencia al permitir, mediante la lógica difusa, identificar la coherencia entre lo que se desea consumir y las metas nutricionales definidas. De este modo, se busca evitar que las personas destinen recursos a comidas que no aporten al cumplimiento de sus metas, brindando una solución más proactiva y fundamentada.

## 13. Conclusión y Trabajos Futuros

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El trabajo realizado hasta el momento permitió identificar requerimientos significativos para el desarrollo de la aplicación móvil propuesta.

Sin embargo, una de las principales limitaciones es que los requerimientos se obtuvieron a partir de un número reducido de personas usuarias potenciales, lo que restringe su representatividad. Esta limitación fue parcialmente compensada mediante la revisión de fuentes externas, como literatura científica, documentos oficiales y el análisis de aplicaciones similares.

A pesar de ello, los formularios y entrevistas realizados aportaron información valiosa y permitieron definir funcionalidades prioritarias. En comparación con desarrollos anteriores, este proyecto se diferencia por incorporar lógica difusa para evaluar la coherencia entre las elecciones alimentarias y las metas nutricionales al momento de planificar -y no después de la generación de la lista de compras-, lo que permite evitar un uso ineficiente de recursos.

Como trabajos futuros, se prevé expandir la muestra de personas usuarias, realizar validaciones empíricas de la solución, ajustar los requerimientos a partir de nuevos hallazgos y evaluar el impacto real de la aplicación una vez que haya sido lanzada al mercado.

**14. Referencias**

[1] AgileLeanHouse. (s.f.). *Kanban Quick Guide*. Recuperado el 15 de abril del 2025 de https://www.agileleanhouse.com/lib/lib/Topics/Kanban/Kanban%20Quick%20Guide.pdf

[2] Ajayi, T. (2025). *AI-powered meal planning app to support good health* [Bachelor's thesis, Haaga-Helia University of Applied Sciences]. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://www.theseus.fi/handle/10024/889521

[3] Amiri, M., Li, J., & Hasan, W. (2023). Personalized flexible meal planning for individuals with diet-related health concerns: System design and feasibility validation study. *JMIR Formative Research*, 7, e46434. Recuperado el 19 de mayo del 2025 de https://doi.org/10.2196/46434

[4] Atlassian. (s.f.). *Trello*. Recuperado el 15 de abril del 2025 de https://trello.com/es

[5] Bravo Hidalgo, N. (2021). *Aplicación móvil para la planificación de menús saludables usando lógica difusa* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Recuperado el 19 de mayo del 2025 de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/8492/1/TL_BravoHidalgoNicole.pdf

[6] Chopra, D. (1987). *Cómo crear salud: Más allá de la prevención y hacia la perfección.* Grijalbo.

[7] Congreso de la Nación Argentina. (2000). *Ley 25.326 - Protección de los datos personales*. Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25326-64790

[8] De la Iglesia, P. (2011). *El milagro de la nutrición ortomolecular*. Kier.

[9] Definición Wiki. (s.f.). *Ejemplos de metas nutricionales: Definición según autor, qué es, concepto, significado*. Definición Wiki. Recuperado el 19 de mayo del 2025 de https://definicionwiki.com/ejemplos-de-metas-nutricionales-definicion-segun-autor-que-es-concepto-significado/

[10] Design Wizard. (2023). *Planificación de comidas: ¿Qué es y por qué deberías hacerlo?* Design Wizard. Recuperado el 19 de mayo del 2025 de https://designwizard.com/es/blog/planificacion-de-comidas-que-es-y-por-que-deberias-hacerlo/

[11] DevZV. (s.f.) *Fuzzy inference system.* Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://www.devzv.com/es/fuzzy-inference-system.html

[12] Duarte, F. (2025). *Time spent using smartphones (2025 statistics)*. Exploding Topics. Recuperado el 13 de mayo del 2025 de https://explodingtopics.com/blog/smartphone-usage-stats

[13] Ducrot, P., Méjean, C., Aroumougame, V., Ibanez, G., Allès, B., Kesse-Guyot, E., Hercberg, S., & Péneau, S. (2017). Meal planning is associated with food variety, diet quality and body weight status in a large sample of French adults. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 14*, 12. Recuperado el 18 de abril del 2025 de https://doi.org/10.1186/s12966-017-0461-7

[14] Ferrara, G.; Kim, J.; Lin, S.; Hua, J.; Seto, E. (2019). *A focused review of smartphone diet-tracking apps: usability, functionality, coherence with behaviour change theory, and comparative validity of nutrient intake and energy estimates*. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://doi.org/10.2196/mhealth.9232

[15] Fitia. (2025). *Fitia: Calorie Counter & Plans* (versión 1.0.0) [Aplicación móvil]. Google Play Store. Recuperado el 17 de abril del 2025 de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.nutrition.technologies.Fitia

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[16] Freepik. (2025). *Recursos gráficos vectoriales, fotos y PSD*. Recuperado el 15 de octubre del 2025 de https://www.freepik.es/
[17] Google. (s.f.). *Comienza a usar Play Console*. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://support.google.com/googleplay/android-developer/answer/6112435?hl=en
[18] Google. (s.f.). *Documentación de Firebase*. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://firebase.google.com/docs?hl=es-419
[19] Google. (s.f.). *Google AdMob*. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://admob.google.com/home/
[20] Google. (s.f.). *Introducción a Android Studio*. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://developer.android.com/studio/intro?hl=es-419
[21] JetBrains. (s.f.). *Kotlin documentation*. Kotlin. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://kotlinlang.org/docs/home.html
[22] JGraph Ltd. (2025). *draw.io* [Software]. Recuperado el 15 de octubre del 2025 de https://www.drawio.com/
[23] Lennon, R. (2023). *Food planner app: Technical report* [Bachelor's thesis, National College of Ireland]. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://norma.ncirl.ie/7062/
[24] Maigua, G. G., & López, E. F. (s.f.). *Buenas prácticas en la dirección y gestión de proyectos informáticos*. edUTecNe. Recuperado el 11 de febrero del 2025 de https://www.edutecne.utn.edu.ar/proyectos_informaticos/buenas_practicas_proyectos_informaticos.pdf
[25] Martín, P. (2014). *Detrás de los alimentos: Lo que nos quieren ocultar.* Tetraedro.
[26] Martín del Brío, B., & Sanz Molina, A. (2008). *Redes neuronales y sistemas borrosos*. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://www.researchgate.net/publication/31732448_Redes_neuronales_y_sistemas_borrosos_B_Martin_del_Brio_A_Sanz_Molina_prol_de_Lotfi_A_Zadeh
[27] Mauch, C. E., Laws, R. A., Prichard, I., Maeder, A. J., Wycherley, T. P., & Golley, R. K. (2021). Aplicaciones disponibles comercialmente para promover comidas familiares saludables: Pruebas de usuarios sobre la utilidad, la aceptabilidad y la participación de las aplicaciones. *JMIR mHealth and uHealth, 9*(5), e22990. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://doi.org/10.2196/22990
[28] Microsoft. (s.f.). *Documentación de Visual Studio Code*. Recuperado el 20 de mayo del 2025 de https://code.visualstudio.com/docs
[29] Ministerio de Desarrollo Social de la Nación. (2022). *Módulo 6: Organizando nuestras comidas. Planificación, compras y precios justos*. Argentina.gob.ar. Recuperado el 27 de marzo del 2025 de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/07/siso_modulo_6_organizando_nuestras_comidas_planificacion_compras_y_precios_justos.pdf
[30] Ministerio de Salud de la Nación. (2020). *Guías alimentarias para la población argentina.* Recuperado el 19 de mayo del 2025 de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/bancos/2020-08/guias-alimentarias-para-la-poblacion-argentina.pdf
[31] Pavlicek, R., & Cradock, K. A. (2025). Behaviour change techniques, intervention features and usability of diet apps. *Preventive Medicine Reports, 54*, 103085. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2025.103085
[32] Pohl M. Research 2 Guidance.: research2guidance; 2017. 325,000 mobile health apps available in 2017 - Android now the leading mHealth platform URL. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://research2guidance.com/325000-mobile-health-apps-available-in-2017/
[33] Polanco, C. (2024). *Lógica difusa: Conceptos fundamentales y casos de estudio*. ResearchGate GmbH. Recuperado el 19 de abril del 2025 de https://www.researchgate.net/publication/375925195_LOGICA_DIFUSA_CONCEPTOS_FUNDAMENTALES_Y_CASOS_DE_ESTUDIO
[34] Python Software Foundation. (s.f.). *Python 3 documentation*. Recuperado el 20 de mayo de 2025 de https://docs.python.org/3/
[35] SamsungFood. (2025). *Samsung Food: Meal Planning* (versión 1.0.0) [Aplicación móvil]. Google Play Store. Recuperado el 17 de abril del 2025 de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.foodient.whisk
[36] Sharma, S. K., & Gaur, S. (2024). *Optimizing Nutritional Outcomes: The Role of AI in Personalized Diet Planning*. *International Journal for Research Publication and Seminar*, 15(2), 107–116. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://doi.org/10.36676/jrps.v15.i2.15
[37] Spoonacular. (s.f.). *Documentación de la API de Spoonacular*. Recuperado el 20 de mayo de 2025 de https://spoonacular.com/food-api/docs
[38] Stashcook. (2025). *Meal Planner & Recipe Keeper* (versión 1.0.0) [Aplicación móvil]. Google Play Store. Recpuerado el 17 de abril del 2025 de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.stashbox.stashcook
[39] StatCounter. (2025). *Mobile operating system market share worldwide*. Statcounter Global Stats. Recuperado el 13 de mayo del 2025 de https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide
[40] Tahir, G. A., Loo, C. K., Kong, N., & Moy, F. M. (2020). Evaluation of issues, usability and functionality of dietary-related mobile applications: A systematic literature review. *arXiv*. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://arxiv.org/abs/2008.09883

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[41] Universidad Siglo 21. (2021, 28 de mayo). *Siglo 21 investiga: alimentación e información nutricional.* Universidad Siglo 21. Recuperado el 21 de mayo del 2025 de https://21.edu.ar/identidad21/siglo-21-investiga-alimentacion-e-informacion-nutricional

[42] Zečević, M., Mijatović, D., Kos Koklič, M., Žabkar, V., & Gidaković, P. (2021). User perspectives of diet-tracking apps: Reviews content analysis and topic modeling. *Journal of Medical Internet Research, 23*(4), e25160. Recuperado el 7 de julio del 2025 de https://doi.org/10.2196/25160

**Datos de Contacto:**
*Rocío París. Universidad Atlántida Argentina. 7600. rochihp20@gmail.com.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Simulación de Phishing con Inteligencia Artificial para la Evaluación y Entrenamiento en Ciberseguridad

**De Rosso, Nicolás; García, Julián; Gurruchaga, Marcos; Piloni, Ignacio; Rodríguez Echaniz, Mora**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*Ante el crecimiento sostenido de ataques de ingeniería social, especialmente estafas de tipo phishing, las organizaciones se enfrentan al desafío de evaluar y fortalecer las capacidades de sus empleados para responder eficazmente a estos ataques. Así surge PhishIntel, una plataforma diseñada para simular ataques y evaluar la respuesta de los empleados. El sistema genera correos, mensajes y llamadas fraudulentas personalizadas mediante inteligencia artificial, y mide cómo los usuarios reaccionan ante ellos. Esta información permite a las organizaciones identificar vulnerabilidades humanas y orientar campañas de capacitación efectivas. Entre los principales beneficios se encuentran la prevención de pérdidas económicas, la protección de datos sensibles y la mejora en la continuidad operativa. PhishIntel busca ofrecer una solución accesible, realista y proactiva para fortalecer la ciberseguridad organizacional frente a amenazas de ingeniería social. Los primeros resultados han mostrado que las organizaciones son altamente vulnerables a este tipo de ataques y se necesita profundizar en la utilización de herramientas de concientización y prevención de Phishing.*

**Palabras Clave**

Phishing, Vishing, Simulación, Ciberseguridad, Ingeniería Social, Capacitación, Concientización

## Introducción

En la última década, la transformación digital y la creciente interconexión de sistemas han generado un aumento exponencial en la superficie de ataque de las organizaciones. En este contexto, las estafas virtuales basadas en ingeniería social, como el *phishing* y el *vishing*, se han convertido en una de las principales amenazas para la seguridad de la información. Estas técnicas, que explotan la vulnerabilidad humana más que las falencias técnicas, buscan engañar a los usuarios para obtener datos confidenciales, credenciales de acceso o inducir a la realización de transacciones fraudulentas.

Datos recientes evidencian la magnitud del problema: durante 2024 se detectaron más de **697 millones de ataques de phishing en América Latina**, lo que representa un incremento del **140 %** en comparación con 2023, con un promedio de **1.326 ataques por minuto**[1]. Resulta especialmente alarmante el aumento del **vishing** impulsado por inteligencia artificial (deepfakes y clonación de voz), que en Argentina creció un **300 % en el último año**[2]. Informes de medios y empresas como **Kaspersky** y **ESET** confirman que el **factor humano** continúa siendo el punto más vulnerable en la **seguridad organizacional**[3].

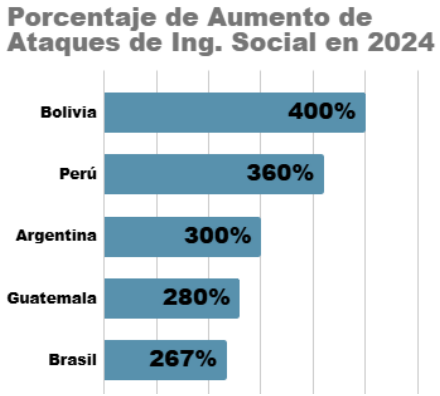



*Figura 1: Aumento en ataques de Ing. Social por país en latinoamérica.*

A su vez, si distinguimos por sector, el promedio de intentos de ataque por individuo [4] se ubicó en 2024 en 1.4 ataques por individuo. En entornos gubernamentales de distintos países, subió hasta 2 ataques por persona reportados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



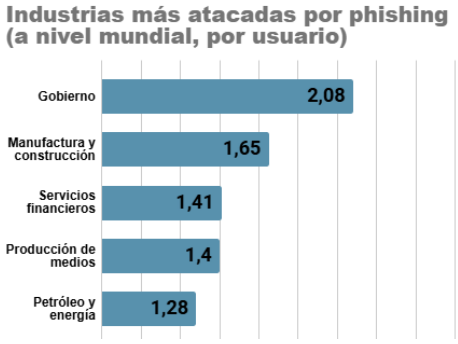



*Figura 2: Industrias más atacadas por phishing. Las entidades gubernamentales son las más afectadas por ataques de phishing.*

En este escenario surge **PhishIntel**, un simulador de estafas virtuales diseñado para brindar servicios de consultoría y capacitación en ciberseguridad a empresas. La plataforma permite generar ataques simulados de *phishing* y *vishing* personalizados, evaluando la reacción de los empleados ante situaciones realistas. A diferencia de soluciones tradicionales que se limitan a correos electrónicos estáticos o audios pregrabados, PhishIntel incorpora **IA generativa y tecnologías de deepfake**, permitiendo llamadas interactivas que adaptan la conversación en tiempo real según las respuestas de la víctima simulada.

El valor diferencial de la propuesta radica en su capacidad para generar métricas precisas y reportes detallados que identifican áreas críticas de vulnerabilidad. Esta información permite a las organizaciones implementar campañas de concientización focalizadas y estrategias preventivas sostenidas en el tiempo, minimizando así el riesgo de **pérdidas económicas, filtración de datos, daños reputacionales e interrupción operativa**.

Además, el desarrollo de PhishIntel contempla la **viabilidad técnica, legal, operativa y de mercado**, garantizando el cumplimiento de normativas como la **Ley 25.326 de Protección de Datos Personales** en Argentina y el **Reglamento General de Protección de Datos (GDPR)** en el ámbito internacional. Metodológicamente, el proyecto se apoya en prácticas **ágiles** basadas en Scrum y herramientas colaborativas, lo que permite un desarrollo iterativo y adaptable. Esta dinámica no solo impulsa la mejora continua, sino que también posibilita responder con rapidez a la evolución constante de las amenazas y a las nuevas metodologías y técnicas de ataque empleadas por los ciberdelincuentes.

En síntesis, PhishIntel se presenta como una plataforma innovadora que combina tecnología avanzada, simulaciones realistas y respaldo metodológico para fortalecer la resiliencia organizacional frente a amenazas de ingeniería social. Además, fue concebida para adaptarse a la evolución constante de las amenazas y a las nuevas técnicas de ataque empleadas por los ciberdelincuentes.

## 1. Marco Teórico

### 1.1 Definición de Phishing, Vishing y su funcionamiento

El **phishing** es una técnica de ingeniería social utilizada por ciberdelincuentes para obtener información confidencial de forma fraudulenta. Generalmente se realiza mediante **correos electrónicos, mensajes instantáneos o sitios web falsos** que simulan ser de entidades legítimas, como bancos, proveedores de servicios o empresas reconocidas. El atacante induce a la víctima a proporcionar datos sensibles —como credenciales de acceso, información bancaria o números de tarjeta— a través de formularios o enlaces maliciosos. Estos mensajes suelen incorporar logotipos, tipografías y estilos de comunicación similares a los originales, incrementando su credibilidad.

El proceso típico de un ataque de phishing incluye las siguientes etapas:

1. **Suplantación de identidad**: el atacante envía un mensaje que aparenta provenir de una fuente confiable.
2. **Engaño**: el contenido genera urgencia o miedo (por ejemplo,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



advertencias de suspensión de cuenta o transacciones sospechosas).
3. **Captura de datos**: la víctima ingresa su información en un formulario falso o interactúa con un enlace que descarga malware.
4. **Explotación**: los datos obtenidos se utilizan para fraudes financieros, robo de identidad o acceso no autorizado a sistemas corporativos.

Por su parte, el **vishing** (*voice phishing*) es una variante que utiliza **llamadas telefónicas** como canal de ataque. En este caso, el estafador se hace pasar por un representante de una entidad legítima y persuade a la víctima para que revele información sensible o realice acciones específicas, como transferencias bancarias o instalación de software.

El vishing tradicional se realizaba mediante voz humana, pero en los últimos años ha evolucionado con el uso de **tecnologías de inteligencia artificial**. Mediante técnicas de *voice cloning* basadas en deepfake, los atacantes pueden imitar la voz de una persona real con gran realismo, replicando incluso su entonación y expresiones. Esto permite generar conversaciones más convincentes y difíciles de detectar, incrementando la efectividad del fraude.

En la práctica, los ataques de vishing suelen seguir un flujo similar al del phishing, con la diferencia de que el contacto inicial se produce por vía telefónica y el intercambio de información se desarrolla de forma verbal. En escenarios avanzados, el atacante puede mantener un diálogo dinámico gracias a la IA, adaptando las respuestas según las reacciones de la víctima, lo que aumenta la credibilidad de la estafa.

El crecimiento de ambos tipos de ataques se ve potenciado por la disponibilidad de herramientas en línea que facilitan su ejecución y por la falta de capacitación adecuada en los usuarios. Esto convierte al **factor humano** en un objetivo central para los atacantes, haciendo imprescindible la implementación de programas de concientización y entrenamiento que permitan detectar y neutralizar estas amenazas.

### 1.2 Phishing y Vishing en empresas

Las organizaciones, independientemente de su tamaño o sector, son blancos prioritarios de phishing y vishing debido al valor de los activos que gestionan, como datos confidenciales, información financiera y acceso a infraestructuras críticas. A diferencia de los ataques a usuarios individuales, las estafas corporativas suelen ser planificadas, con reconocimiento previo que adapta los mensajes al contexto organizacional, aumentando su efectividad.

El phishing empresarial apunta a empleados de áreas sensibles (finanzas, recursos humanos, sistemas, atención al cliente) y adopta formas sofisticadas, como facturas falsas, solicitudes de transferencia o mensajes que simulan provenir de directivos (conocido como **CEO fraud o Business Email Compromise, BEC**), aprovechando la información pública para mayor realismo. Por su parte, el vishing ha evolucionado con la inteligencia artificial, permitiendo mediante la clonación de voz suplantar la identidad de personas conocidas y simular llamadas de proveedores o ejecutivos, lo que puede generar riesgos críticos en ausencia de protocolos internos de verificación.

Por estas razones, las empresas deben adoptar un enfoque proactivo que combine tecnología, capacitación continua y simulaciones realistas. No basta con implementar firewalls o antivirus; es imprescindible fortalecer el "firewall humano" mediante programas de concientización y entrenamiento que permitan identificar señales de alerta, verificar la legitimidad de comunicaciones y reportar actividades sospechosas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 1.3 Estado del mercado y brechas detectadas

El mercado de capacitación en ciberseguridad en América Latina, y especialmente en Argentina, aún se encuentra en una etapa incipiente. Si bien existen múltiples soluciones enfocadas en la concientización sobre phishing, la mayoría se limita a simulaciones de correos electrónicos fraudulentos y contenidos teóricos. En este contexto, **PhishIntel** apunta a cubrir un nicho poco explorado: la capacitación frente a ataques de **vishing**, una modalidad de ingeniería social que ha ganado relevancia en los últimos años.

Según nuestra investigación exploratoria, si bien existen algunas herramientas que incluyen simulaciones de vishing, la mayoría se encuentran en mercados desarrollados como Europa y Estados Unidos, y operan de forma estática, utilizando audios pregrabados o tecnologías de texto a voz (Text-to-Speech). Estas soluciones simplemente reproducen un mensaje al que el usuario no puede responder de forma dinámica.

**PhishIntel** se diferencia por ofrecer una simulación de vishing interactiva, en la que la inteligencia artificial analiza las respuestas del usuario y genera réplicas en tiempo real mediante una voz sintética personalizada. Gracias al realismo de estas simulaciones, es posible evaluar con mayor exactitud las acciones y reacciones de los empleados ante un intento de estafa telefónica.

### 1.4 Consideraciones éticas y regulatorias

La simulación de fraudes, aunque es un proceso de concientización con consentimiento organizacional, plantea un desafío ético fundamental: la **confianza del usuario**. Es crucial que la plataforma se utilice exclusivamente para fines educativos y preventivos, y bajo un marco de total transparencia hacia el empleado por parte de la empresa.

- **Finalidad Educativa:** El objetivo principal de PhishIntel es fortalecer el "firewall humano", no penalizar. La simulación debe ser percibida como una herramienta para el aprendizaje y la mejora continua, y no como un método de vigilancia o castigo.
- **Consentimiento y Confianza:** Se debe establecer un protocolo claro que garantice que los datos recolectados se utilicen únicamente para la creación de métricas y la personalización de la capacitación. La simulación debe evitar generar ansiedad o una desconfianza excesiva que perturbe la actividad diaria o la moral del empleado.
- **Cumplimiento Normativo:** El diseño de PhishIntel contempla la viabilidad legal y operativa, garantizando el cumplimiento de los marcos regulatorios clave.

**Marcos Regulatorios Relevantes**

- **Ley 25.326 de Protección de Datos Personales - Argentina:** Esta ley tiene como objetivo **garantizar la protección integral de los datos personales** asentados en archivos, registros, bases o bancos de datos, y **asegurar el derecho a la intimidad** de las personas.
- **Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) - Unión Europea:** Este es el marco regulatorio más estricto a nivel global. El GDPR establece principios clave como la **minimización de datos**, la **limitación de la finalidad**, la **seguridad del tratamiento** y la **responsabilidad proactiva** (*Accountability*), obligando a las organizaciones a demostrar que cumplen con la normativa.

PhishIntel se adhiere a estos marcos mediante la aplicación de sus principios fundamentales:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Finalidad del Tratamiento:** La plataforma asegura que la recopilación de datos de comportamiento (tasas de interacción, tiempos de respuesta) se realiza con una finalidad legítima y explícita: la evaluación y mejora de la ciberseguridad organizacional.
- **Minimización de Datos:** PhishIntel se enfoca en recolectar únicamente los datos necesarios para las métricas de evaluación, evitando la recopilación de información personal o sensible que no esté directamente relacionada con el objetivo de la simulación.
- **Almacenamiento y Seguridad:** Se implementan requisitos no funcionales estrictos, como el **cifrado de contraseñas y datos sensibles** , así como el **almacenamiento seguro de resultados, audios y transcripciones** de las interacciones. Esto garantiza la confidencialidad de la información y protege la identidad de los usuarios participantes.

## 2. Metodología de trabajo

### 2.1 Enfoque de desarrollo

Para el desarrollo del proyecto se adoptó la **metodología Scrum**, cuyo enfoque iterativo e incremental permite ajustar rápidamente el desarrollo, probar funcionalidades de manera temprana y mejorar continuamente. Esta flexibilidad resulta clave para crear una plataforma que debe adaptarse constantemente a nuevas técnicas de ataque y escenarios de simulación realistas.

El equipo se encuentra trabajando con **sprints de tres semanas**, que permiten ciclos suficientemente amplios para abordar funcionalidades complejas y realizar pruebas, sin perder la capacidad de revisión periódica y ajuste. A lo largo del cronograma establecido (de mayo a noviembre), se planificaron **9 sprints completos**, con espacio para revisión final y documentación.

### 2.2 Roles del equipo

- **Product Owner (PO):** un integrante del equipo asume el rol de cliente simulado, encargándose de definir prioridades, validar funcionalidades y asegurar que los objetivos del sprint se alineen con los requerimientos del proyecto.
- **Scrum Master:** se encarga de facilitar el proceso, asegurando el cumplimiento de los principios de Scrum, eliminando impedimentos y promoviendo una buena dinámica de trabajo.
- **Equipo de desarrollo:** el resto de los integrantes participa en el diseño, implementación, pruebas y documentación, colaborando activamente en todas las etapas del sprint.

### 2.3 Ceremonias y dinámica de trabajo

- **Sprint Planning:** reunión al inicio de cada sprint para definir objetivos concretos, seleccionar tareas priorizadas y distribuir el trabajo.
- **Daily Scrum (opcional):** seguimiento informal diario (por chat o reuniones breves) para comunicar avances, identificar obstáculos y coordinar acciones.
- **Sprint Review:** presentación del entregable al Product Owner al final del sprint. Puede incluir demos funcionales, reportes o documentación técnica.
- **Sprint Retrospective:** espacio de reflexión sobre el sprint completado, donde se analizan aciertos y oportunidades de mejora para futuros ciclos.

### 2.4 Herramientas y gestión colaborativa

- **Control de versiones**: Git con la metodología Git Flow, a través de GitHub, permitiendo un manejo estructurado de ramas y control de cambios en el código.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Gestión de tareas y documentación**: Notion y Trello, utilizados para registrar avances, decisiones y obstáculos, así como documentar procesos y acuerdos de equipo.
- **Comunicación**: reuniones periódicas presenciales y virtuales, complementadas con comunicación asincrónica por chat para coordinar tareas y resolver bloqueos.

**2.5 Plan de trabajo**

El desarrollo del proyecto se planificó inicialmente para un período comprendido entre el **15 de mayo y el 27 de noviembre de 2025**, abarcando 28 semanas (196 días).

A la fecha de elaboración de este documento, el proyecto se encuentra con un **85% de avance**, habiendo completado las fases de documentación inicial, diseño de arquitectura, configuración del backend, integraciones con APIs de Inteligencia artificial y módulos de métricas. A futuro, resta finalizar las pruebas de vishing, realizar ajustes en el frontend y desplegar la aplicación en la web. Estas tareas se encuentran distribuidas en los *releases* planificados, siguiendo la metodología Scrum y validando cada entrega con el Product Owner.

**2.6 Gestión de riesgos**

Al momento de planificar el proyecto se identificaron los siguientes riesgos críticos:

- Dificultades técnicas en el envío de mensajes, correos o llamadas.
- Posibles bloqueos por parte de sistemas de seguridad empresariales.
- Dependencia de herramientas externas (como APIs o servicios de mensajería).
- Costos imprevistos en la implementación de servicios de terceros.
- Sobrecarga académica de los desarrolladores en otros cursos.

Para mitigar estos riesgos, se previó:

- Realizar pruebas tempranas de integración.
- Documentar alternativas viables para cada herramienta externa.
- Re-planificar los sprints si se detectan obstáculos mayores.
- Reforzar la comunicación y la colaboración para evitar cuellos de botella.

**3. Análisis y diseño**

**3.1 Requerimientos Funcionales**

El sistema *PhishIntel* debe cumplir con una serie de funcionalidades clave orientadas a la prevención y concientización sobre ataques de **phishing** y **vishing** en entornos corporativos. Entre las más relevantes:

- **Autenticación de usuarios registrados** con acceso diferenciado por rol (Administrador o Usuario).
- **Menú principal personalizado** que muestre solo las funciones correspondientes al perfil.
- **Gestión de Eventos de Evaluación** para administradores, incluyendo creación, asignación, evaluación y revisión de resultados.
- **Gestión de Áreas y Usuarios** (listar, registrar, modificar y eliminar) solo disponible para administradores.

**Simulación de ataques** por:

- **Correo electrónico (Email Phishing).**
- **Llamadas telefónicas (Vishing).**
- **Mensajes SMS o mensajería instantánea (WhatsApp y Telegram).**

**Registro y análisis de resultados**, incluyendo acciones realizadas por el usuario, tiempos de respuesta y grado de vulnerabilidad.

**3.2 Requerimientos No Funcionales**

Para garantizar la eficacia y seguridad del sistema, se establecen requisitos no funcionales:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



1. **Seguridad y autenticación**: uso de credenciales internas, cifrado de contraseñas y datos sensibles.
2. **Protección de información**: almacenamiento seguro de resultados, audios y transcripciones.
3. **Compatibilidad técnica**: soporte en entornos Linux y Windows Server 2016+.
4. **Integraciones clave**:
    - **Gemini AI** para generar contenido de phishing y procesar datos.
    - **SendGrid** para el envío de correos electrónicos.
    - **Twilio** para el envío de SMS y generación de llamadas.
    - **ElevenLabs** para clonar la voz de los usuarios y utilizarlas en las llamadas.
5. **Procesamiento de voz y texto** para análisis automatizado de interacciones.

### 3.2 Diagrama de clases

Se definió el siguiente Diagrama de clases (modelo de dominio) que representa el diseño del sistema PhishIntel:

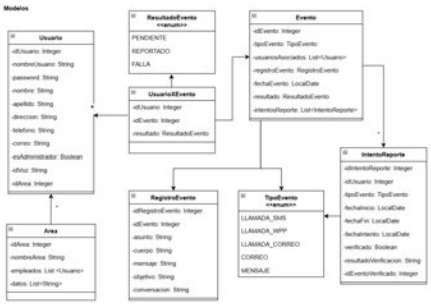



*Figura 3: Diagrama de clases planteado para la solución. Cada evento guarda el resultado de la simulación de phishing, utilizado para hacer reportes más adelante.*

### 3.3 Diagrama de arquitectura

En base a los servicios clave, se realizó el siguiente diagrama de componentes y despliegue:

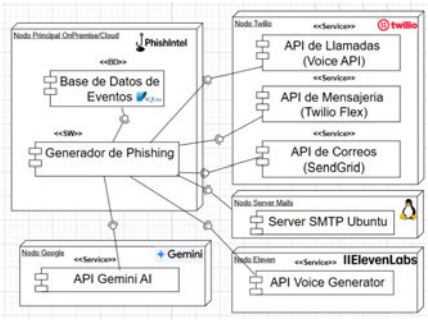



*Figura 4: Integraciones que PhishIntel realiza con otros sistemas*

## 4. Trabajos Relacionados

El fenómeno del phishing ha sido estudiado desde distintos enfoques. Benavides, Fuertes, Sánchez y Nuñez-Agurto (2020) [5] presentan una revisión sistemática en español que caracteriza los principales tipos de ataques y recopila técnicas de mitigación, lo que permite contextualizar el problema en el ámbito académico latinoamericano. A nivel internacional, Aleroud y Zhou (2017) [6] realizan un extenso estado del arte sobre entornos, técnicas y contramedidas, aportando una visión amplia que sirve como marco teórico para comprender la evolución de estas amenazas. Por su parte, Bhavsar, Kadlak y Sharma (2018) [7] ofrecen un estudio introductorio que resume los aspectos esenciales de los ataques de phishing, útil como referencia inicial y de base conceptual en el tema.

## 5. Métricas y resultados

Para la validación efectiva de la plataforma PhishIntel y para cuantificar con precisión la vulnerabilidad humana ante ataques de ingeniería social, se ha definido un conjunto de **métricas de rendimiento clave (Key Performance Indicator: KPI)**. Estas métricas están diseñadas para transformar los hallazgos de las simulaciones en estrategias de concientización efectivas y medir el progreso de la cultura de seguridad organizacional.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



PhishIntel recolecta y analiza los datos generados durante los Eventos de Evaluación para brindar a los administradores información que les permita identificar áreas críticas de vulnerabilidad. A continuación, se detallan las métricas diseñadas para este propósito:

**5.1 Métricas de Evaluación Clave**

Se utilizan las siguientes métricas para cuantificar la vulnerabilidad humana y medir la efectividad de las campañas de concientización, transformando los hallazgos en mejoras concretas de la cultura de seguridad organizacional:

1. **Tasa de Interacción (Vulnerabilidad Inicial):**
   - **Definición:** Mide el porcentaje de empleados que **interactúan** con el ataque simulado (hacen clic en un enlace de *phishing*, ingresan credenciales, o revelan información)
   - **Valor:** Proporciona un **porcentaje de vulnerabilidad inicial** y permite monitorear si este valor mejora después de las campañas de capacitación, lo que es vital para la prevención de pérdidas económicas.

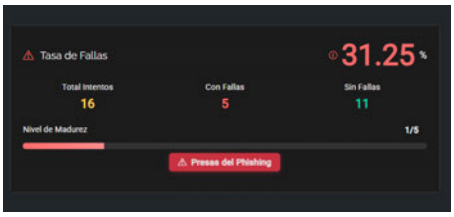



*Figura 5: Medición del KPI de tasa de interacción. Al evaluar el desempeño de una organización, se llegó a 31.25% de tasa de interacción, lo cual representa en la escala definida un grave riesgo.*

2. **Tiempo de Respuesta al Reporte:**
   - **Definición:** Registra el tiempo transcurrido desde que se lanza un intento de ataque hasta que el empleado **reporta** el incidente a la autoridad de seguridad correspondiente.
   - **Valor:** En ciberseguridad, la reducción en los tiempos de respuesta es crucial para la contención de amenazas, permitiendo frenar un posible fraude antes de que se produzcan daños mayores.




*Figura 6: Medición del KPI de tiempo de respuesta en el sistema. Para la organización de ejemplo, se encuentra en el mejor nivel definido de este KPI (Menos de una hora de respuesta)*

3. **Evolución de la Vulnerabilidad por Sector (Focalización):**
   - **Definición:** Compara las tasas de interacción entre diferentes departamentos, áreas o períodos de la organización.
   - **Valor:** Permite identificar áreas críticas de vulnerabilidad (por ejemplo, Finanzas vs. Information Technology) y orientar las campañas de capacitación y concientización para que sean **focalizadas y efectivas**.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 7: Medición de Fallas por Área. En el filtro, se eligió el área de ventas de una empresa particular.*

### 5.2 Sistema de scoring

Para transformar las métricas de evaluación en un sistema de gestión de riesgos y de capacitación interactiva, se ha implementado un **Sistema de Scoring de Vulnerabilidad** dentro de PhishIntel. Este sistema aplica principios de gamificación para motivar a los empleados y medir el riesgo de manera continua.

**Fundamentos del Scoring**

El sistema asigna un puntaje dinámico a cada empleado, el cual fluctúa en función de su comportamiento durante las simulaciones de ataque:

- **Pérdida de Puntos (Comportamiento de Riesgo):** Cada interacción negativa o de riesgo, como hacer clic en un enlace de *phishing* simulado, revelar credenciales, o demorar la respuesta crítica, resulta en la deducción de puntos del *score* individual.
- **Ganancia de Puntos (Comportamiento Seguro):** Las respuestas positivas, como el reporte rápido y correcto de un incidente de *phishing* o la identificación exitosa de un ataque de *vishing*, resultan en la suma de puntos.

**Niveles de Evaluación**

El **Scoring de Vulnerabilidad** no solo se aplica a nivel individual, sino que se escala hacia las áreas para ofrecer una visión integral del riesgo en la organización:

1. **Score Individual de Empleado:** Refleja la propensión personal a caer en engaños virtuales, lo que permite la creación de **capacitaciones personalizadas** orientadas a mitigar las debilidades específicas del usuario.
2. **Score por Área/Departamento:** Promedia los puntajes individuales de los empleados de dicho sector, permitiendo a la organización identificar y enfocar recursos de capacitación donde la vulnerabilidad es más alta, alineándose con la métrica de evolución de la vulnerabilidad por sector.
3. **Score Organizacional Total:** Ofrece una visión global de la cultura de seguridad, permitiendo medir el impacto de las campañas de concientización a lo largo del tiempo y fortalecer la resiliencia digital de la empresa.

Este sistema de puntuación facilita a los administradores la gestión y seguimiento del riesgo de seguridad, transformando los datos brutos en una métrica accionable y fácil de interpretar.

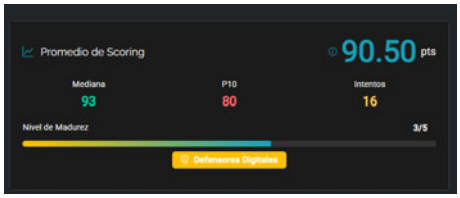



*Figura 8: Visualización de la evaluación bajo el sistema de scoring a nivel organización, incluyendo el desempeño negativo y positivo.*

### 5. Conclusiones

La creciente sofisticación de las estafas virtuales exige soluciones que trasciendan los métodos tradicionales de capacitación en ciberseguridad. PhishIntel se desarrolló para responder a esta necesidad, ofreciendo un entorno capaz de simular ataques de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



phishing altamente realistas y multicanal, evaluando de manera precisa la respuesta de los empleados. Esta propuesta no solo aborda la detección de vulnerabilidades humanas, sino que también genera información clave para diseñar estrategias de concientización más efectivas.

Según nuestro método, la plataforma permite identificar con alta precisión las áreas y perfiles más propensos a fallar ante intentos de phishing o vishing, proporcionando una base objetiva para priorizar acciones de capacitación y fortaleciendo su valor práctico como herramienta de diagnóstico y mejora continua dentro de las organizaciones.

Entre las limitaciones encontradas, destaca la dependencia de proveedores externos de servicios de llamadas, cuya disponibilidad y condiciones técnicas condicionan la calidad de la simulación. Asimismo, la necesidad de realizar pruebas en entornos controlados restringe la validación en escenarios reales.

Como líneas futuras, se plantea optimizar la integración con proveedores de comunicación, ampliar las métricas de evaluación para incluir el progreso del usuario tras campañas educativas y explorar técnicas de machine learning que anticipen patrones de vulnerabilidad.

En síntesis, la simulación de phishing representa un paso firme hacia una capacitación más realista, proactiva y accesible, con el potencial de convertirse en un aliado clave para la resiliencia digital de las organizaciones.

**6. Agradecimientos**
Agradecemos al Ing. Claudio Cresentini, al Ing. Martín Centeno, al Ing Emiliano Cortez y a la Ing. Gabriela Salem, por las sugerencias y cambios.

**7. Referencias**

[1] *Infobae*, “Alerta en América Latina: más de mil ataques de phishing por minuto a PC y celulares,” Oct. 2024. [En línea]. Disponible en: http://bit.ly/4maa3R2. [Accedido: 08-ago-2025].

[2] *ITSitio*, “Kaspersky: Argentina enfrenta un aumento del 300% en ataques de phishing impulsados por IA en 2024,” Oct. 2024. [En línea]. Disponible en: https://bit.ly/3UmKYpJ. [Accedido: 08-ago-2025].

[3] *ESET WeLiveSecurity*, “Organizaciones de América Latina: blanco de ataques informáticos en el último año,” Ago. 2024. [En línea]. Disponible en: https://bit.ly/3J5v28Z. [Accedido: 08-ago-2025].

[4] TechMagic, “Phishing Attack Statistics,” [En línea]. Disponible en: https://www.techmagic.co/blog/blog-phishing-attack-statistics. [Accedido: 08-ago-2025].

[5] Benavides, E., Fuertes, W., Sanchez, S., & Nuñez-Agurto, D. (2020). Caracterización de los ataques de phishing y técnicas para mitigarlos. Ataques: una revisión sistemática de la literatura. Ciencia y Tecnología, 13(1), 97-104.

[6] Aleroud, A., & Zhou, L. (2017). Phishing environments, techniques, and countermeasures: A survey. Computers & Security, 68, 160-196.

[7] Bhavsar, V., Kadlak, A., & Sharma, S. (2018). Study on phishing attacks. International Journal of Computer Applications, 182(33), 27-29.

**8. Datos de Contacto**

De Rosso, Nicolas Agustín. UTN FRBA.
nderosso@frba.utn.edu.ar

Gurruchaga, Marcos Fernando. UTN FRBA.
mgurruchaga@frba.utn.edu.ar

García, Julián Daniel. UTN FRBA.
jgarca@frba.utn.edu.ar

Piloni, Ignacio. UTN FRBA.
ipiloni@frba.utn.edu.ar

Rodríguez Echaniz, Mora. UTN FRBA.
mrodriguezechaniz@frba.utn.edu.ar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# OnboardMe - Plataforma para la Gestión Personalizada de Onboarding en Equipos de TI: Un Enfoque en la Reducción de la Curva de Aprendizaje y el Aumento de la Productividad Temprana y Gestión del Conocimiento

**Cingolani Rojas, Franco / fcingolanirojas@frba.utn.edu.ar**
**Caggiano, Juan Cruz / jcaggiano@frba.utn.edu.ar**
**Ciruzzi, Genaro Francisco / gciruzzi@frba.utn.edu.ar**
**Fasciolo, Ornella Sofía / ofasciolo@frba.utn.edu.ar**
**Vila Brinusio, Rodrigo Javier / rvilabrinusio@frba.utn.edu.ar**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*En el contexto de las empresas tecnológicas con alta rotación o crecimiento acelerado, el proceso de onboarding de nuevos ingenieros de software, analistas de datos o especialistas en ciberseguridad a un equipo de TI representa un desafío clave para asegurar una integración eficiente y alineada con la cultura organizacional. En respuesta a esta problemática, se desarrolló OnboardMe, una plataforma de tipo Software as a Service (SaaS) diseñada para optimizar el proceso de incorporación mediante flujos de aprendizaje personalizados por rol, guías técnicas y un sistema de seguimiento del progreso. La herramienta también promueve la figura del "buddy", quien podrá ser un compañero, líder o experto técnico—que acompaña al nuevo integrante durante sus primeras semanas, ofreciendo orientación, soporte y seguimiento continuo sobre su aprendizaje. Como resultado, se espera una reducción del 30% del tiempo de adaptación, un aumento en la productividad temprana mejorando la satisfacción del nuevo empleado, y reduciendo la carga de trabajo de los mentores, generando así un impacto positivo en la retención de talento y el traspaso de conocimiento. OnboardMe busca transformar el proceso de onboarding tradicional en una experiencia estructurada, ágil y personalizada.*

## Introducción

En el sector tecnológico, especialmente en empresas en crecimiento o con alta rotación de personal, el proceso de incorporación de nuevos empleados a la organización o al área (en caso de rotaciones internas) representa un punto crítico para la eficiencia operativa y la retención del talento. La falta de estructura y sistematización en este proceso puede derivar en una baja productividad inicial, desmotivación o incluso abandono temprano. Diversos estudios y experiencias empresariales [14][15] coinciden en que una experiencia de onboarding deficiente es uno de los principales factores que afectan la integración y permanencia de nuevos integrantes en los equipos de trabajo. A esto se suma una problemática estructural relacionada con la retención del conocimiento dentro de la organización: cuando personas con experiencia abandonan la empresa, su conocimiento técnico y funcional suele perderse si no fue correctamente documentado o transmitido [12][13]. Esto genera una dependencia informal y una curva de aprendizaje ineficiente para los nuevos integrantes.

Además, la falta de estandarización en el proceso de onboarding puede provocar que cada ingresante reciba una experiencia distinta, lo que genera desigualdades en el acceso a la información crítica, los tiempos de adaptación y la integración al equipo.

Ante esta problemática, surge la posibilidad de diseñar e implementar *OnboardMe*, una plataforma destinada a estructurar el proceso de onboarding, que no solo sirva

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



para documentar los conocimientos técnicos esenciales, sino que además guíe y acompañe al nuevo integrante durante sus primeros pasos en su nuevo ámbito laboral.

***Contexto, problemática y validación***

A pesar de los esfuerzos de muchas organizaciones por brindar una experiencia de onboarding adecuada, en la práctica persisten falencias vinculadas a la falta de estandarización, escasa documentación técnica, y poca disponibilidad de referentes internos para acompañar a quienes se suman a un equipo.

Una encuesta de validación realizada por el equipo a más de 90 personas del ámbito profesional de IT reveló que los principales problemas en el proceso de incorporación son la falta de acompañamiento en las primeras semanas y la limitada disponibilidad del equipo actual, lo que impacta directamente en la curva de aprendizaje y en la percepción inicial del nuevo empleado. A su vez, el 59,1% de los encuestados manifestó que se necesitan más de tres semanas para que una persona comience a desempeñarse de forma autónoma. Esto representa no solo una pérdida de productividad, sino también un riesgo en términos de motivación, retención y aprovechamiento del talento.

Asimismo, desde la perspectiva organizacional, la pérdida de conocimiento técnico ante la salida de personal clave es un problema frecuente, especialmente en empresas que no cuentan con procesos formales para la documentación, asignación de tareas ni formación inicial. En este sentido, contar con un sistema estructurado de onboarding no solo contribuye a la experiencia del ingresante, sino que también constituye una herramienta clave para consolidar y preservar el conocimiento interno.

***Segmento de mercado y diferenciación***

OnboardMe está orientado a un mercado específico: empresas medianas y grandes del sector tecnológico con al menos 80 empleados y que cuenten con un área o encargado de Recursos Humanos. Este perfil organizacional representa un punto de madurez en el cual las empresas comienzan a necesitar procesos más estructurados, repetibles y medibles.

Según datos de la Universidad del CEMA (UCEMA), a diciembre de 2023 existían alrededor de 240 empresas medianas y 120 empresas grandes que cumplen con estos requisitos.

En primera instancia, OnboardMe se enfocará en las compañías que se encuentren en el área de AMBA.

Según datos del gobierno nacional, el 57% de las empresas de software está en CABA y ~10% en Gran Buenos Aires ⇒ ~67% del total nacional en AMBA.

Si hay 360 empresas medianas y grandes a nivel nacional, hay aproximadamente 240 radicadas en AMBA.

En base a estos últimos datos, el market share que se está apuntando en el primer año para el proyecto es un 5% del total de las compañías radicadas en AMBA, es decir 12 empresas entre medianas y grandes.

Por el lado de la competencia, en el mercado local existen suites de RR.HH. orientadas principalmente a la gestión administrativa del ciclo de vida del empleado (legajos, beneficios, licencias, firma de documentos). Estas soluciones priorizan la formalidad del proceso y el cumplimiento normativo, pero dejan parcialmente cubierto el acompañamiento técnico del ingresante dentro del equipo (puesta a punto del puesto, prácticas del área, dinámicas de trabajo, expectativas de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



performance y transferencia de conocimiento operativo).

OnboardMe propone un enfoque integral que incluye tanto los aspectos organizacionales como técnicos del proceso de incorporación. Su diferencial clave radica en la incorporación de flujos personalizados por rol, trazabilidad del progreso, centralización de contenidos técnicos, y la figura del "buddy": una persona real del equipo que cumple un rol activo de acompañamiento durante las primeras semanas del nuevo integrante.

Este abordaje busca no solo reducir el tiempo hasta la productividad, sino también homogeneizar la experiencia de onboarding, asegurando que todas las personas ingresantes de un mismo equipo reciban la misma base de conocimiento y soporte técnico.

***Metodología de trabajo y organización del equipo***

El equipo de investigación está conformado por cinco integrantes. Cada integrante desempeña uno o más roles específicos en el proyecto, los cuales se listan a continuación:

- Project Manager (PM)
- Product Owner (PO)
- Scrum Master (SM)
- Arquitecto de Soluciones (AS)
- Desarrollador FullStack FE (Dev FE)
- Desarrollador FullStack BE (Dev BE)
- Líder DevOps (LDO)
- Tester QA (QA)

Cada uno de estos roles cuenta con responsabilidades específicas y trabaja en colaboración con el resto del equipo.
Esta organización permitió una división equilibrada de tareas y una ejecución ordenada del roadmap definido.

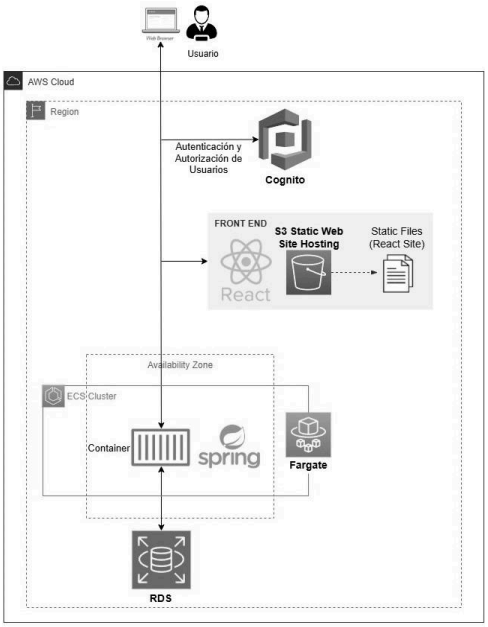
El desarrollo de OnboardMe se llevó a cabo mediante el marco de trabajo Scrum. Esta elección respondió a la necesidad de flexibilidad, iteración continua y retroalimentación frecuente por parte de docentes y revisores del proyecto. Se trabajó en sprints quincenales, acompañados por ceremonias regulares como *daily meetings*, *sprint planning*, *review* y *retrospective*.

Las herramientas empleadas para la colaboración y gestión incluyeron Jira (planificación y seguimiento) y GitHub (control de versiones), lo cual garantiza un flujo de trabajo transparente y una comunicación efectiva en todo momento.

***Arquitectura general de la solución***

OnboardMe fue diseñado como una plataforma SaaS basada en arquitectura por capas, desplegada íntegramente sobre la nube de Amazon Web Services (AWS), lo cual garantiza alta disponibilidad, escalabilidad y simplicidad en la gestión de infraestructura.

***Stack tecnológico***



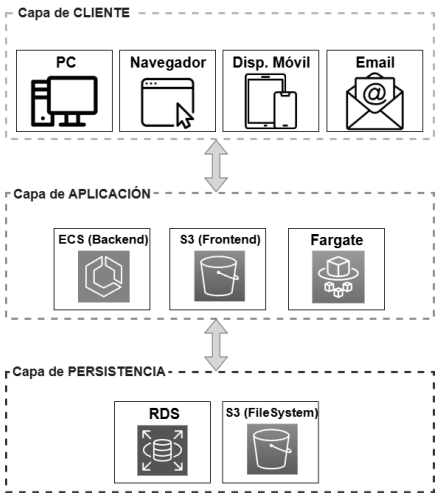

*Imágen 1: Diagrama de Arquitectura*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Frontend:** React.js — Interfaz web responsiva, dinámica y centrada en la experiencia del usuario.
- **Backend:** Spring Boot (Java) — Encargado de la lógica de negocio, exposición de APIs REST y gestión de roles, tareas y métricas.
- **Base de Datos:** MySQL sobre Amazon RDS — Motor relacional para persistencia estructurada, con backups automáticos y alta disponibilidad.
- **Contenedores:** Docker + Amazon ECS con Fargate — Orquestación de contenedores sin necesidad de administrar servidores.
- **Autenticación:** AWS Cognito — Gestión de usuarios y roles mediante tokens JWT, asegurando control granular de acceso.
- **Almacenamiento de archivos:** Amazon S3 — Repositorio para documentación técnica, videos, imágenes y otros contenidos del onboarding.

***Modelo de capas***




*Imágen 2: Diagrama de Capas*

La solución se organiza en cuatro capas principales:

1. **Capa de Cliente:** Acceso multiplataforma desde navegador, adaptado a distintos perfiles (ingresante, buddy, RRHH), con navegación intuitiva y diseño responsivo.
2. **Capa de Aplicación:** Responsable de la lógica central, incluyendo la creación y asignación de flujos de onboarding, gestión de checklists, asignación de buddies y visualización de métricas de avance.
3. **Capa de Persistencia:** Almacena la información del sistema en una base de datos relacional y en almacenamiento de objetos. Se contempla la separación entre datos estructurados (MySQL) y archivos multimedia (S3).

***Funcionalidades principales del sistema***

OnboardMe fue concebido como una herramienta integral para estructurar, automatizar y acompañar el proceso de incorporación de nuevos integrantes en empresas tecnológicas. Para cumplir con este objetivo, se diseñaron e implementaron las siguientes funcionalidades clave:

- **Creación de cursos personalizados de onboarding:** Permite configurar diferentes recorridos según el perfil del ingresante (rol y área), asignando diversas tareas, como puede ser documentos de lectura y videos que ayuden al ingresante a adquirir los conocimientos técnicos necesarios para poder ejecutar exitosamente sus tareas laborales diarias.
- **Checklists dinámicos por usuario:** Cada nuevo colaborador visualiza en su panel las tareas pendientes y completadas. Esto permite una

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



gestión clara del avance y una estandarización de la experiencia.

- **Asignación de buddy:** Se habilita la designación de una persona real del equipo (compañero, líder o referente técnico) para cada nuevo ingresante, quien actuará como guía durante el proceso. El sistema permite realizar un seguimiento de esta relación y facilitar el contacto entre ambos, logrando un feedback contínuo a lo largo de todo el proceso de onboarding.

- **Panel de RRHH:** Vista general para los responsables del departamento de Recursos Humanos encargados del proceso de onboarding empresarial. En dicho panel podrán monitorear el avance de los distintos ingresantes, asignar buddies a ingresantes y consultar una pantalla de métricas de los procesos en curso y finalizados.

- **Carga y gestión de contenidos técnicos:** La plataforma permite almacenar documentación, videos, guías internas y recursos útiles para que el nuevo colaborador tenga acceso centralizado a todo lo necesario desde su primer día.

- **Métricas y seguimiento:** Se generan indicadores sobre la velocidad de adaptación, tareas completadas, duración de cada etapa, nivel de avance por usuario y área, entre otros.

- **Sistema de notificaciones:** Recordatorios automáticos por email para tareas pendientes, próximas reuniones o fechas clave dentro del flujo de incorporación.

***Atributos de calidad y requisitos no funcionales***

Además de las funcionalidades principales, OnboardMe fue diseñado considerando una serie de atributos de calidad que garantizan su robustez, escalabilidad y sostenibilidad en entornos reales. Estos atributos —también conocidos como Requisitos No Funcionales (RNF)— fueron contemplados desde el inicio del diseño arquitectónico, y se abordaron mediante tácticas específicas, tanto a nivel de infraestructura como de implementación.

**● Disponibilidad**

El sistema debe estar accesible en todo momento, especialmente durante horarios laborales. Para ello, se eligió AWS como plataforma de despliegue, aprovechando su capacidad de escalar automáticamente ante fallos mediante Fargate, ECS y RDS Multi-AZ. Se estableció un objetivo de disponibilidad del 99,5% mensual.

**● Rendimiento**

Se espera que las respuestas del sistema ante acciones como carga de tareas, visualización de flujos o asignación de buddy se realicen en tiempos menores a 2 segundos en el 95% de los casos.
Mientras que el frontend fue construido en React.js con prácticas de carga eficiente (lazy loading y minificación).

**● Mantenibilidad**

El sistema sigue una arquitectura en capas que separa responsabilidades (frontend, backend, persistencia). Esto facilita la incorporación de nuevos desarrolladores, el aislamiento de bugs y la evolución de funcionalidades. Se prioriza la escritura de código limpio, uso de control de versiones, y documentación técnica para garantizar que el 80% de los bugs puedan ser corregidos en menos de 3 días hábiles.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**● Portabilidad**

Gracias a la contenerización con Docker y el uso de variables de entorno, la solución puede ser migrada a otra infraestructura cloud (como GCP o Azure) sin modificaciones significativas. Se estimó un tiempo de migración menor a dos semanas, en caso de requerirse.

**● Seguridad**

OnboardMe gestiona datos personales y laborales, por lo tanto se implementaron medidas estrictas de protección:

- Autenticación y autorización mediante AWS Cognito, con emisión de tokens JWT.
- Roles con control granular de acceso (RBAC).
- Uso exclusivo de conexiones seguras (HTTPS).
- Separación de entornos (desarrollo, testing, producción).
- Logs de intentos de acceso indebido.
- Además, se siguen las buenas prácticas recomendadas por la Ley 25.326 de Protección de Datos Personales en Argentina, y se establecieron políticas de consentimiento explícito para los usuarios.

## Conclusión

Este trabajo de fin de carrera se propuso abordar el desafío crítico de estandarizar y acelerar el onboarding en empresas tecnológicas, reduciendo la dependencia del conocimiento tácito y mejorando la experiencia de quienes ingresan a los equipos. Mediante el diseño, construcción y validación de un MVP basado en flujos personalizados, checklists trazables y la figura del buddy (persona real del equipo que acompaña al ingresante), demostramos la factibilidad técnica y operativa de una solución que organiza el proceso end-to-end y preserva conocimiento clave de la organización. La arquitectura por capas desplegada en la nube y el desarrollo iterativo con Scrum aportaron bases sólidas de escalabilidad, mantenibilidad y seguridad para su evolución.

La capacidad mostrada por OnboardMe para homogeneizar la experiencia entre áreas y formalizar la transferencia de saberes abre nuevas perspectivas para gestionar el aprendizaje inicial y la productividad temprana en contextos de crecimiento y rotación. En particular, para pymes tecnológicas con equipos en expansión, la solución sienta un precedente práctico hacia procesos de incorporación más medibles, repetibles y centrados en el desempeño técnico desde el primer día.

Si bien los resultados iniciales son promisorios, reconocemos oportunidades de mejora: instrumentar y monitorear KPIs (tiempo hasta primera tarea productiva, finalización de checklists, tareas vencidas, satisfacción de ingresantes y buddies), fortalecer la resiliencia (Multi-AZ en base de datos, estrategias de blue/green y rollback guiado), y profundizar en usabilidad y accesibilidad. La próxima etapa contempla pilotos controlados en empresas del segmento objetivo para cuantificar el impacto y refinar plantillas de flujos por rol/tecnología. Con estas líneas, OnboardMe avanza hacia una herramienta robusta para la retención de conocimiento y la aceleración de la productividad en equipos de software.

## Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por su valiosa colaboración en la realización de nuestra idea. Sus aportes y recomendaciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto, y la motivación que nos brindaron fue de gran importancia.

También agradecemos a la Asociación de Recursos Humanos de Argentina (ADRHA), quienes nos brindaron información valiosa sobre los procesos actuales de la incorporación de nuevos miembros en las organizaciones en el país.

**Referencias**

[1] Ministerio de Economía – SEPyME (2024). *Estadísticas de PyMEs, Emprendedores y Empresas – Informe 2023/2024* (PDF). https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_2023_nov_2024.pdf?

[2] CAF – Banco de Desarrollo de A. Latina (2017). *Las PyMEs en Argentina* (PDF). https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/2199/CAF-Pymes%20ARG.pdf?isAllowed=y&sequence=1

[3] AWS. *AWS Pricing Calculator* (herramienta oficial de estimación). https://calculator.aws/#/

[4] AWS. *AWS Free Tier + Términos del Free Tier + FAQs* (límites y alcances). https://aws.amazon.com/es/free/

[5] AWS. *Well-Architected Framework – Reliability & Security Pillars* *https://aws.amazon.com/es/premiumsupport/business-support-well-architected/*

[6] Amazon Web Services (2025). *Hosting a static website using Amazon S3*. https://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/userguide/WebsiteHosting.html

[7] Amazon Web Services (2025). *Amazon RDS for MySQL – User Guide*. https://docs.aws.amazon.com/AmazonRDS/latest/UserGuide/CHAP_MySQL.html

[8] React Team (2025). *React – Quick Start & Docs*. https://react.dev/learn

[9] Brandon Hall Group (2024). *Unlocking the Power of Onboarding to Aid Employee Retention* *https://brandonhall.com/unlocking-the-power-of-onboarding-to-aid-employee-retention/*

[10] SHRM Foundation (T. Bauer). *Onboarding New Employees: Maximizing Success* (PDF). https://penedulearning.com/wp-content/uploads/2019/05/Onboarding-New-Employees_Maximizing-Success.pdf

[11] SHRM (2024). *Complete Employee Onboarding Guide* https://www.shrm.org/topics-tools/topics/onboarding

[12] *Knowledge loss induced by organizational member turnover: a review of empirical literature, synthesis and future research directions* https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S0969647423000587

[13] *Knowledge Loss: Turnover Means Losing More Than Employees* https://hrdailyadvisor.com/2018/07/18/knowledge-loss-turnover-means-losing-employees/

[14] *The Crucial Connection Between Onboarding and Retaining Top Talent* https://www.linkedin.com/pulse/crucial-connection-between-onboarding-retaining-top-talent-cj-wheat/

[15] *Onboarding: a key to employee retention and workplace well-being* https://www.researchgate.net/publication/389319230_Onboarding_a_key_to_employee_retention_and_workplace_well-being

**Datos de Contacto**

*Cingolani Rojas, Franco - fcingolanirojas@frba.utn.edu.ar - Universidad Tecnológica Nacional*

*Caggiano, Juan Cruz - jcaggiano@frba.utn.edu.ar - Universidad Tecnológica Nacional*

*Ciruzzi, Genaro Francisco - gciruzzi@frba.utn.edu.ar - Universidad Tecnológica Nacional*

*Fasciolo, Ornella Sofía - ofasciolo@frba.utn.edu.ar - Universidad Tecnológica Nacional*

*Vila Brinusio, Rodrigo Javier - rvilabrinusio@frba.utn.edu.ar - Universidad Tecnológica Naciona*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# PrensAI: Automatización del clipping de noticias y generación de informes con IA

**Sanchez, Agustin; Requejo, Lautaro; Frioli, Florencia; Garozzo, Marcio**

***Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, UTN-FRBA, Buenos Aires, Argentina***

**Abstract**

*El clipping de noticias y la elaboración de informes de prensa continúan siendo procesos manuales, repetitivos y propensos a error en organizaciones públicas y privadas. Este trabajo presenta el diseño e implementación inicial de una plataforma web para automatizar el procesamiento de noticias digitales en español, a partir de listados de URLs provistos por los equipos de comunicación. La propuesta integra un pipeline de extracción de contenido, normalización y análisis con técnicas de PLN (reconocimiento de entidades, clasificación de sentimiento y categorización temática) y un módulo de generación automática de informes con modelos de lenguaje (LLM) ejecutados localmente. Todo en una arquitectura modular contenedorizada. Se describe el modelo de datos, los casos de uso principales y las decisiones de infraestructura que priorizan bajo costo y portabilidad. Asimismo, se define un plan de evaluación con métricas de exactitud en extracción y clasificación, tiempo de procesamiento y percepción de utilidad por parte de usuarios finales. La plataforma apunta a reducir tiempos operativos y estandarizar la calidad de los reportes, habilitando un tablero de métricas para análisis cuantitativo y cualitativo, con foco en privacidad y ejecución offline cuando sea posible.*

**Palabras clave**

Clipping de noticias, monitoreo de medios, procesamiento de lenguaje natural, análisis de sentimiento, LLM, generación de informes, ingeniería de software.

## Introducción

El crecimiento del volumen de contenidos digitales y la necesidad de monitoreo reputacional en tiempo casi real han incrementado la carga operativa de los equipos de prensa. En la práctica, muchos flujos siguen apoyándose en newsletters y planillas manuales, con costos de tiempo y riesgos de inconsistencia. Existen soluciones comerciales de monitoreo, pero a menudo son costosas, poco flexibles y no priorizan la generación de informes personalizados ni la privacidad de datos.

En el flujo actual, los analistas de prensa abren cada enlace, leen la noticia, extraen campos (título, medio, fecha, secciones, menciones, valoración), consolidan en planillas y redactan un informe. Este procedimiento es intensivo en tiempo, propenso a errores (omisiones, duplicados, formatos heterogéneos) y difícil de escalar cuando el volumen crece.

En el contexto operativo del área de Prensa del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (GCBA), entre Marzo–Abril, 2025 se registraron en promedio 100 URLs por jornada, con un tiempo medio por lote de 4 horas y una tasa de correcciones del 20%[1].

Este trabajo aborda el problema diseñando PrensAI, una plataforma web que automatiza el pipeline de clipping y reportería de noticias. El flujo completo incluye: ingestión de URLs, extracción de contenido, enriquecimiento con PLN, almacenamiento estructurado, generación de

1 Los datos operativos citados fueron provistos directamente por el sponsor del proyecto (Área de Prensa – GCBA) a partir de registros internos de producción

.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tableros y producción de informes redactados. Las contribuciones principales son: (i) una arquitectura desacoplada que separa API y servicios de IA para favorecer mantenibilidad y escalabilidad; (ii) un esquema de datos enfocado en consultas analíticas y reportería; (iii) un módulo de informes con LLM local que evita costos de API y preserva privacidad; (iv) un conjunto de casos de uso que operativizan la solución de punta a punta; y (v) un plan de evaluación reproducible con métricas técnicas y de experiencia de usuario.

Con nuestra propuesta se espera otorgar el siguiente valor agregado a los equipos de prensa: (i) reducir el tiempo operativo de generación de clippings en un 90% respecto al tiempo actual; (ii) estandarizar la calidad y el formato de los reportes; (iii) mejorar la trazabilidad; (iv) ofrecer una solución con tecnología de vanguardia con alto grado de personalización.

A lo largo de este artículo se abordan distintos puntos clave del proyecto y la investigación: metodología aplicada, el alcance funcional, la arquitectura y los componentes de IA utilizados para conformar la solución. Finalmente, se menciona cómo puede evolucionar nuestro producto a partir de las limitaciones y el alcance definido.

**Trabajo relacionado/Estado del arte**

Las soluciones existentes para clipping y análisis de prensa cubren partes del flujo, pero no el proceso completo con calidad y trazabilidad operativa: las suites comerciales de monitoreo priorizan descubrimiento y alertas, aunque suelen carecer de extracción estructurada por campos y de controles por lote con trazabilidad por URL; las herramientas de síntesis con LLM (p. ej., NotebookLM) facilitan resúmenes/QA sobre corpus cargados por el usuario, pero no resuelven la automatización de extracción por campo, la validación supervisada integrada ni la reportería operativa reproducible; y los pipelines ad-hoc (ETL+LLM) requieren alto esfuerzo de ingeniería para sostener privacidad/offline, métricas de calidad y exports con esquema fijo. Frente a esto, nuestra propuesta integra en un único pipeline ingesta, extracción estructurada, validación supervisada y controles por lote, métricas y reportería reproducible con opción offline para proteger datos sensibles, cubriendo requisitos operativos del sponsor que no aparecen de forma conjunta en las alternativas revisadas.

**Requerimientos funcionales**

La plataforma cubre el flujo completo de clipping y reportería de noticias, desde el acceso seguro hasta la exportación de resultados, con foco en reemplazar el proceso manual típico de ~100 URLs diarias y una dedicación de ~4 horas.

La **Figura 1** presenta el diagrama de contexto con los actores principales (Administrador, Usuario y Servicio autenticador) y los intercambios que estructuran el flujo de PrensAI.

*Autenticación y autorización.* En primer lugar, el acceso se gestiona mediante sesiones tokenizadas. Tras validar credenciales en un IdP compatible con OAuth2/OIDC, la aplicación emite un JWT de corta vida que habilita las funciones según el rol del usuario.

*Ingesta y validación de enlaces de noticias***.** El usuario carga un set de noticias recibidas por un newsletter externo. La aplicación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



valida formato y contenido (URLs bien formadas, ausencia de nulos), normaliza cada enlace (canonización y eliminación de parámetros de seguimiento) y evita reprocesar duplicados mediante una clave canónica. La ingesta se desacopla del procesamiento mediante una cola de trabajos que preserva idempotencia y admite concurrencia.

*Extracción de datos relevantes y enriquecimiento de noticias*. Para cada URL, el sistema descarga el HTML y aplica estrategias de parseo que priorizan selectores semánticos y, en su defecto, heurísticas de legibilidad, con el fin de obtener título, cuerpo, medio, sección, autor y fecha cuando estén disponibles. Luego, un módulo de PLN en español enriquece cada nota con entidades (personas, organizaciones, lugares), polaridad (positivo/neutral/negativo) y etiquetas temáticas de baja cardinalidad. El procesamiento registra versiones de modelos y banderas de calidad (texto insuficiente, idioma no-ES, fecha ausente) para facilitar auditoría y mejora continua.

*Gestión, búsqueda y edición supervisada de noticias*. Los resultados se almacenan de forma estructurada y quedan disponibles en una tabla paginada con filtros por fecha, medio, tema, polaridad y menciones. La interfaz permite edición puntual de campos (corrección de título, etiquetas, tono, etc.) con trazabilidad completa (quién, qué, cuándo) y control de consistencia sobre datos críticos (p. ej., unicidad por URL canónica).

*Métricas y reportería generativa*. A partir del repositorio estructurado, el sistema genera indicadores (volumen por día/tema/medio, distribución de polaridad, menciones más frecuentes) y visualizaciones exportables. Para la redacción del informe, el usuario selecciona un conjunto de noticias (por tema/evento o rango temporal) y la plataforma produce un texto coherente con LLM local siguiendo plantillas y prompts parametrizables. La vista previa permite una revisión rápida antes de la descarga.

*Exportaciones, notificaciones y seguridad.* La plataforma ofrece exportación de tablas (CSV/XLSX) y del informe final (PDF/Docx, según configuración). Durante la ejecución de tareas largas (ingesta, análisis, generación de informe) la interfaz entrega notificaciones de progreso, éxito o error. El acceso está protegido por OAuth2/OIDC con autorización por roles y administración básica de usuarios.

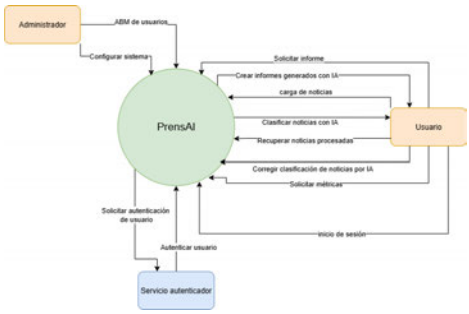


Figura 1. Diagrama de contexto.

**Requerimientos no funcionales**

Los atributos de calidad se definen conforme a ISO25010, priorizando rendimiento, seguridad, mantenibilidad y portabilidad, sin descuidar usabilidad y observabilidad.

*Rendimiento y escalabilidad*. Para el lote operativo de referencia (≈100 URLs), el sistema debe completar el procesamiento extremo a extremo en un tiempo ≤ 10% del baseline manual, incluyendo extracción, enriquecimiento, persistencia y reportería. Las operaciones interactivas (búsqueda,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



filtrado, navegación de tablas y previsualización del informe) deben ejecutarse sin bloqueos perceptibles, aún cuando existan trabajos en segundo plano; para ello, la arquitectura separa orquestación de API y cargas de IA mediante procesamiento asíncrono.

*Disponibilidad y confiabilidad*. La plataforma busca una disponibilidad mensual ≥ 99,5% para interfaz y API. Las tareas largas incorporan reintentos con backoff ante fallos transitorios (red, parseo), bitácoras de errores clasificadas por causa y colas de descarte para casos no recuperables. La persistencia garantiza idempotencia por URL canónica y no pérdida de datos confirmados.

*Seguridad y privacidad.* Todo el tráfico se cifra por HTTPS. La autenticación se delega en un IdP compatible con OAuth2/OIDC. La privacidad se refuerza ejecutando la generación de texto con LLM local (sin envío de contenidos a terceros) y registrando únicamente metadatos imprescindibles.

*Mantenibilidad y evolución*. La solución adopta una arquitectura modular. Cada módulo se versiona y prueba de forma independiente; se promueve versionado semántico, pruebas unitarias esenciales y documentación de contratos (endpoints y esquemas).

*Portabilidad y despliegue*. Todos los componentes se empaquetan en Docker, favoreciendo la portabilidad entre entornos y proveedores IaaS. La API es stateless, lo que simplifica el escalado horizontal. El almacenamiento de objetos y la base relacional se aíslan tras una red privada virtual, manteniendo el frontend como único componente expuesto.

*Usabilidad*. La interfaz prioriza flujos de trabajo reales (carga → seguimiento → revisión → informe), jerarquía visual clara y consistencia terminológica con el dominio de prensa. La aceptación se medirá con SUS/NPS y con el tiempo real de armado del informe frente al proceso manual.

*Eficiencia de recursos y observabilidad*. La separación API↔IA evita competencia de recursos. El sistema centraliza logs y métricas técnicas (tiempos, tasas de error, colas), habilitando tableros operativos y alertas para diagnóstico proactivo.

**Arquitectura y componentes**

La solución adopta una arquitectura en capas y servicios desacoplados.

En la capa de cliente, una aplicación web desarrollada en React/TypeScript concentra la interacción del usuario con los casos de uso de la plataforma. La UI administra estados de interfaz y navegación, pero delega tanto la lógica de negocio como la seguridad al backend: las sesiones se establecen mediante OAuth2/OIDC y se prueban en cada llamada mediante JWT de corta duración. El cliente nunca accede directamente a la base de datos; toda interacción ocurre por REST/JSON sobre HTTPS.

La API actúa como orquestador stateless: no conserva sesión ni contexto en memoria entre solicitudes; todo el estado relevante se persiste en PostgreSQL/almacenamiento y colas, de modo que cualquier instancia pueda atender cualquier petición, habilitando escalado horizontal y despliegues sin interrupciones. Expone endpoints bien tipados para: ingestión y validación de archivos, consulta y gestión de noticias procesadas, compilación de métricas, solicitud de redacción de informes y gestión de usuarios/roles. Cada petición

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



atraviesa un pipeline común de autenticación/autorización (validación de JWT y verificación de permisos), validación de contrato (esquemas), y trazabilidad (correlation id en logs).

El procesamiento de IA se encapsula en servicios Python independientes, consumidos desde la API por HTTP interno dentro de la red privada. Hay dos responsabilidades delimitadas: (i) extracción y enriquecimiento (descarga y parsing del HTML, limpieza y normalización de texto, detección de título/fecha/medio cuando están disponibles, y un pipeline de PLN en español que anota entidades, polaridad y etiquetas temáticas de baja cardinalidad); y (ii) redacción de informes con un LLM local (Llama 3 vía Ollama) a partir de un contexto estructurado derivado de los filtros que el usuario aplicó para armar el clipping.

La persistencia se resuelve con PostgreSQL y un modelo relacional optimizado para consultas analíticas y reportería. La tabla de base almacena la noticia normalizada (con unicidad por URL canónica para evitar duplicados), mientras que una tabla de enriquecimiento guarda anotaciones de PLN y metadatos de procesamiento. Las ediciones manuales se registran en un log de auditoría que preserva el valor original, el nuevo valor y el usuario que realizó la modificación.

La arquitectura incorpora procesamiento en segundo plano mediante colas livianas.

En términos de seguridad, toda comunicación externa se cifra por HTTPS; la API aplica RBAC de privilegios mínimos.

En cuanto a la arquitectura de la infraestructura, se considera un despliegue utilizando contenedores Docker, sobre VMs en nube, con red privada virtual para aislar API y servicios de IA y un frontend expuesto por HTTPS. Se prevé un nodo con GPU dedicado a la ejecución del LLM. La **Figura 2** resume la arquitectura de infraestructura propuesta, incluyendo los servicios, la base de datos, el procesamiento en segundo plano y el nodo con GPU.

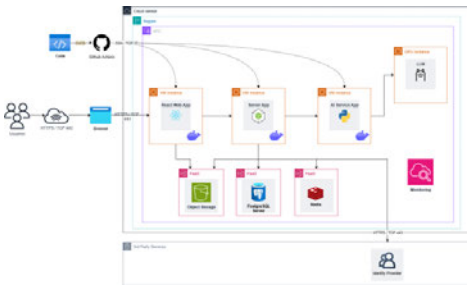


Figura 2. Arquitectura de infraestructura

**Módulos de IA y enfoque de PLN**

El módulo de IA de PrensAI automatiza dos etapas cruciales del trabajo de los empleados de prensa: (i) análisis lingüístico de cada noticia (extracción de entidades, estimación de polaridad y etiquetado temático de baja cardinalidad) y (ii) redacción de informes a partir de un subconjunto filtrado por el usuario. La primera etapa aporta estructura y señales para búsqueda, métricas y auditoría; la segunda sintetiza hallazgos en un texto coherente con el estilo institucional.

El análisis de noticias se apoya en modelos preentrenados en español para tareas clásicas de PLN, mientras que la redacción se realiza con un modelo grande de lenguaje (LLM) Llama 3 ejecutado localmente mediante Ollama. En un LLM, el texto se procesa como una secuencia de tokens (segmentos sub-léxicos); el modelo aprende distribuciones sobre el "siguiente token" condicionado al contexto previo. Para manejar textos extensos, se emplea una ventana de contexto finita; por ello, PrensAI controla la longitud de los prompts con plantillas y truncamiento semántico de las noticias.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Cuando el conjunto y el contenido de las noticias es voluminoso, se calculan representaciones vectoriales (embeddings) de fragmentos informativos; estas representaciones permiten ordenar por similitud y seleccionar evidencia relevante. Este mecanismo sienta la base para una futura estrategia de RAG (retrieval-augmented generation).

En el análisis por noticia, cada URL pasa por un pipeline con tres etapas. Primero, extracción y normalización: a partir del HTML se obtiene el texto principal y los metadatos (título, medio, fecha, autor, sección) y se unifican formatos de fecha y nombres de medios. Luego, anotación lingüística en español con modelos preentrenados: se identifican entidades (personas, organizaciones, lugares), se estima polaridad (positivo/neutral/negativo) y se asignan etiquetas temáticas de baja cardinalidad; cuando corresponde, se registra el factor político como rasgo adicional del contenido. Finalmente, se generan banderas de calidad (p. ej., texto insuficiente o idioma no español) y se guardan versiones de modelos y marcas temporales para asegurar trazabilidad y reproducibilidad. El resultado persiste asociado a la noticia y alimenta tanto la vista tabular como el tablero de métricas descritos en secciones previas.

La redacción de informes sigue el principio de "fidelidad al dato": el texto debe reflejar exclusivamente las noticias seleccionadas por el usuario. Para ello el módulo aplica:
(i) Plantillas y prompting estructurado; (ii) Restricciones de salida; (iii) Post-chequeos automáticos; (iv) Vista previa y edición.

Desde el punto de vista metodológico, el módulo de IA no sustituye la revisión humana sino que desplaza el esfuerzo hacia tareas de validación y edición final. Persisten limitaciones intrínsecas —como la ambigüedad lingüística (ironía, sarcasmo) o la variabilidad de los marcados HTML—, pero se mitigan con banderas de calidad, compactación de contexto antes de redactar y la intervención opcional del usuario cuando un caso lo requiere. En conjunto, estas decisiones permiten que el aporte de la IA sea explicable, trazable y útil para los objetivos de clipping y reportería definidos en el proyecto.

**Riesgos del uso de LLMs**

Uno de los mayores problemas que surgen con el uso de modelos del lenguaje, son las alucinaciones. Un modelo, puede generar respuestas incorrectas a causa de problemas relacionados a la pérdida de precisión por ventana de contexto o cuantización, puede ser por sesgos que el modelo adquirió durante su etapa de entrenamiento, o bien por una deficiencia en la calidad de la fuente. Por tal motivo, la plataforma ofrecerá a los empleados de prensa la posibilidad de revisar y modificar los resultados del pipeline de automatización, con la opción de editar lo que considere necesario. Por otro lado, los modelos del lenguaje a la fecha necesitan de alta potencia de procesamiento para funcionar en tiempo real, incurriendo en altos costos operativos.

**Trabajos Relacionados**

El monitoreo de medios y los servicios de clipping cuentan con múltiples soluciones comerciales orientadas a la búsqueda, seguimiento y reportería. Estas plataformas suelen priorizar cobertura y alertas, con menor énfasis en la generación de informes narrativos personalizados o en la ejecución local de modelos. En el ámbito académico y *open source*, existen avances relevantes para el procesamiento en español: modelos *transformers* preentrenados como BETO y RoBERTuito han mostrado resultados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



competitivos en análisis de sentimiento; por su parte, *pipelines* de NER en español ofrecen una base sólida para extracción de entidades. La propuesta se diferencia por combinar: (i) una arquitectura modular *full-stack* con IA local y bajo costo operativo, (ii) foco en español y dominio periodístico, y (iii) un módulo de redacción asistida por LLM integrado al flujo de clipping y métricas.

En relación con antecedentes académicos y soluciones del mercado, el aporte de PrensAI es la integración end-to-end centrada en español con énfasis en trazabilidad, personalización y privacidad. A diferencia de plataformas comerciales enfocadas en cobertura y alertas, nuestra propuesta prioriza un modelo de IA y pipeline de clipping personalizado según los requerimientos del cliente.

**Limitaciones**

El alcance actual se limita a notas de medios digitales accesibles por URL. Este recorte, sumado a la variabilidad de la estructura de las páginas (cambios en el HTML que afectan selectores) y a la existencia de contenidos protegidos (paywalls), condiciona la cobertura efectiva de extracción. A nivel lingüístico, persisten fenómenos —ironía, sarcasmo, polisemia— que dificultan la estimación de sentimiento y la asignación de temas; además, trabajamos con modelos en español genéricos y no afinados aún al dominio periodístico local, lo que restringe el reconocimiento fino de entidades. Para la redacción, la ventana de contexto del LLM obliga a compactar noticias en lotes, con el riesgo de omitir detalles si la selección previa no es cuidadosa. Finalmente, la latencia de la inferencia local depende del hardware disponible: CPU es suficiente para cargas moderadas, mientras que GPU acelera la redacción a costa de mayor costo operativo.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Este trabajo presenta el diseño e implementación inicial de PrensAI, plataforma que automatiza el clipping de noticias digitales en español integrando extracción, enriquecimiento lingüístico y redacción de informes con un modelo de lenguaje ejecutado en infraestructura propia. Sobre el caso de uso operativo planteado, la solución constituye una base práctica para reducir de manera sustantiva el tiempo total frente al proceso manual, manteniendo control sobre dónde se procesa la información y cómo se registran las decisiones del sistema.

De las limitaciones surgen las líneas de trabajo inmediatas. Primero, ampliar la cobertura: integrar RSS y APIs de medios, definir políticas explícitas ante paywalls, e incorporar monitoreo de redes sociales (búsquedas por menciones/hashtags) para enriquecer el panorama informativo. Segundo, extender el alcance de clasificación más allá de texto digital, incorporando contenido multimedia: transcripción automática de radio y TV y extracción de metadatos (voz, locutor, programa) para aplicar el mismo pipeline de análisis y reportería. Tercero, eliminar la dependencia de newsletters externos habilitando la generación de newsletters propios: selección de notas, armado de secciones y distribución; esto cierra el ciclo sobre la misma plataforma. Cuarto, mejorar la calidad lingüística afinando modelos al dominio (reconocimiento de entidades locales y calibración de polaridad por género periodístico) y adoptando RAG liviano (selección por representaciones vectoriales y fragmentos verificables en el prompt) para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sostener la fidelidad cuando el conjunto de notas es grande.
Por último, se desea ir a un enfoque multitenant para que PrensAI pueda servir de plataforma a cualquier equipo de prensa, indistintamente de la organización a la que pertenezcan, dando sentido a todo el foco de producto que realizamos en el proyecto.

Finalmente, la consolidación empírica del impacto se abordará con un piloto controlado que mida, durante varias semanas, el tiempo extremo a extremo y la exactitud de extracción frente a un conjunto de referencia etiquetado (un golden set curado para el dominio). Para reportar resultados se utilizarán métricas estándar de información —F1, entendida como la media armónica entre precisión y cobertura— y una escala de usabilidad aceptada —SUS, System Usability Scale— junto con la reducción real del tiempo de armado y la tasa de edición del informe final. Estos datos orientarán, con evidencia, los ajustes de plantillas, umbrales de calidad y parámetros del modelo.

En síntesis, PrensAI constituye una base técnica y metodológica sobre la cual escalar la automatización del clipping y la reportería en español, equilibrando calidad, costo y privacidad. La evaluación de la implementación permitirá cuantificar el impacto y orientar, con evidencia, las decisiones de mejora y extensión del sistema.

**Agradecimientos**
Deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires (UTN–FRBA) por su orientación académica y sus valiosos aportes a lo largo de todo el proceso. Agradecemos también a los docentes y tutores por sus recomendaciones metodológicas, y a nuestros compañeros y pares por las observaciones que enriquecieron el trabajo. Finalmente, reconocemos el apoyo de nuestras familias y amistades, cuya paciencia y aliento fueron fundamentales para concretar este proyecto.

**Referencias**

*[1] spaCy Models (ES): Trained pipelines for Spanish (NER, POS, etc.). Explosion AI, documentación en línea.*

*[2] D. C. C. U. Chile (DCC UChile), "BETO: Spanish BERT," repositorio y paper asociados.*

*[3] Pysentimiento / RoBERTuito Sentiment Analysis (modelo entrenado con TASS 2020).*

*[4] A. de Arriba et al., "Applying Sentiment Analysis on Spanish Tweets Using BETO," CEUR-WS, 2021.*

*[5] M. García-Vega et al., "Overview of TASS 2020," CEUR-WS, 2020.*

*[6] Ollama: API y documentación de ejecución local de LLMs.*

*[7] OpenAI: API y documentación.*

*[8] Anthropic: Model Context protocol (MCP) documentation.*

**Datos de Contacto**

*Agustín Sánchez. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*agussanchez@frba.utn.edu.ar*

*Lautaro Requejo. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*lrequejo@frba.utn.edu.ar*

*Florencia Frioli. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*florfrioli@frba.utn.edu.ar*

*Marcio Garozzo. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*mgarozzo@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# MyCFO: Desarrollo de un Sistema de Gestión Financiera y Contable Basado en Microservicios para Startups y Freelancers

**Cassina Carbia, Federico**
**Fedorenko, Martin Fernando**
**Otero, Erik Leonel**
**Del Campo Kenny, Francisco**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*El presente trabajo presenta la planificación, diseño y construcción inicial de MyCFO, un sistema web inteligente de gestión financiera y contable orientado a startups y freelancers, frente a la creciente necesidad de este segmento de profesionalizar su administración económica sin contar con conocimientos contables avanzados. A través de una arquitectura modular basada en microservicios, se establecieron las bases técnicas y conceptuales para una futura implementación que automatice tareas contables repetitivas, ofrezca una visión clara de la salud financiera e integre otras herramientas del ecosistema de negocios. El sistema contempla funcionalidades como la gestión de ingresos y egresos, consolidación de cuentas bancarias, generación de reportes automáticos y pronósticos, emisión de notificaciones y recomendaciones inteligentes basadas en técnicas de aprendizaje automático. La investigación se centró en la arquitectura de software, la experiencia de usuario y la implementación de algoritmos para la predicción de flujos de caja, apoyándose en metodologías ágiles (Scrum) para organizar el trabajo en cinco releases iterativos. Actualmente el producto se encuentra en etapa de desarrollo y validación interna, habiéndo completado la planificación, definición de requerimientos, arquitectura y prototipos iniciales. Como resultado, se establecieron bases sólidas para la construcción de una solución escalable, accesible y confiable, con capacidad de aportar valor real al público objetivo y de evolucionar hacia futuras integraciones y validaciones en entornos reales.*

**Palabras Clave**
startups, freelancers, microservicios, arquitectura modular, inteligencia artificial, automatización contable, reportes financieros, gestión financiera

## Introducción

En el contexto actual, caracterizado por una creciente digitalización de la economía y un incremento en el número de trabajadores independientes y pequeños emprendimientos, la gestión financiera se ha convertido en un desafío central para profesionales que no cuentan con conocimientos contables ni recursos suficientes para contratar asesoramiento especializado. Si bien existen soluciones contables en el mercado, muchas resultan costosas, complejas o poco adaptadas a las necesidades reales de freelancers y startups emergentes. Esta brecha tecnológica y funcional motiva el desarrollo de herramientas que democratizan el acceso a una gestión financiera organizada, automatizada y accesible.

Diversos estudios e informes recientes reflejan el interés y la necesidad de contar con soluciones simples y digitales para organizar ingresos, gastos y obligaciones impositivas. Sin embargo, gran parte del segmento objetivo continúa utilizando planillas manuales o aplicaciones desagregadas que no permiten una visión integrada de la situación financiera. En este escenario, surge la iniciativa MyCFO, un sistema web orientado a asistir a este tipo de usuarios en la gestión contable y financiera de manera simple, segura y eficaz.

El presente trabajo tiene como objetivo general desarrollar y evaluar MyCFO, un Sistema de Gestión Financiera y Contable basado en microservicios, centrado en la simplicidad y la automatización, orientado a startups y freelancers. En particular, se propone una arquitectura robusta que garantice escalabilidad y mantenibilidad, junto con la implementación de módulos que contemplen el registro de ingresos y egresos, la facturación, la consolidación bancaria automatizada y la generación de reportes financieros básicos. Asimismo, se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



prevé la realización de pruebas de usabilidad con un grupo representativo de startups y freelancers para optimizar la experiencia de usuario, y la incorporación de algoritmos predictivos mediante técnicas que permitan anticipar el flujo de caja y brindar soporte a la toma de decisiones.
El documento se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se detallan los requerimientos del sistema; luego, se describen los patrones de diseño y las metodologías utilizadas. A continuación, se presenta la arquitectura general, los módulos desarrollados, las integraciones con servicios externos y el esquema de despliegue de la solución. Finalmente, se discuten los aportes del proyecto, sus limitaciones actuales y las posibles líneas de trabajo futuras.

## 1. Definición de los Requerimientos

El sistema MyCFO fue concebido con el objetivo de brindar a freelancers y startups una herramienta accesible para gestionar su contabilidad y finanzas, automatizando procesos clave y permitiendo una visión consolidada de la situación económica de cada usuario. Para lograrlo, se definieron requerimientos funcionales y no funcionales que guiaron el diseño y la implementación de la solución.

**Requerimientos funcionales (RF)**:

- El sistema debe permitir el registro y categorización de ingresos, egresos y movimientos bancarios.
- Debe generar reportes automáticos de ganancias y pérdidas (P&L) y flujos de caja (cash flow).
- Debe permitir consolidar la información proveniente de múltiples cuentas bancarias.
- Debe generar pronósticos financieros utilizando datos históricos (rolling forecast).
- Debe brindar recomendaciones básicas mediante inteligencia artificial, como clasificación automática de gastos o detección de anomalías.
- Debe permitir gestionar múltiples perfiles de usuario con distintos niveles de acceso y permisos.
- Debe emitir alertas y notificaciones ante vencimientos de impuestos u obligaciones.

**Requerimientos no funcionales (RNF)**:

- Usabilidad: el sistema debe contar con una interfaz intuitiva, accesible a usuarios sin conocimientos técnicos ni contables, con bajo tiempo de aprendizaje.
- Desempeño: la aplicación debe responder de forma fluida, ofreciendo tiempos de respuesta coherentes en interacciones comunes.
- Compatibilidad: debe ser accesible desde distintos navegadores web y permitir interoperabilidad con servicios de terceros.
- Fiabilidad: el sistema debe ser tolerante a fallos y capaz de recuperar datos o componentes ante errores imprevistos.
- Seguridad: debe garantizar la confidencialidad, integridad y protección de los datos, cumpliendo normativas legales vigentes.
- Mantenibilidad: su arquitectura debe permitir modificaciones y mejoras sin afectar el funcionamiento global.
- Portabilidad: la aplicación debe poder desplegarse en distintos entornos de infraestructura sin dependencia de plataformas específicas.

Estos requerimientos fueron el punto de partida para la definición de los módulos del sistema, la elección de tecnologías, la arquitectura implementada y las decisiones metodológicas adoptadas.

## 2. Metodología de trabajo y abordaje de los requerimientos

Para llevar adelante el desarrollo del sistema MyCFO, se adoptó una metodología ágil basada en el marco de trabajo Scrum [1]. Esta elección permite

[1]P&L: Abreviatura de “Profit and Loss”, es un informe financiero que muestra los ingresos, gastos y el beneficio o pérdida de una empresa en un período determinado.
[2]El Cashflow es un indicador financiero que muestra la entrada y salida de efectivo en una empresa durante un periodo determinado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



abordar los requerimientos de manera incremental e iterativa, favoreciendo la validación temprana de funcionalidades, la adaptabilidad ante cambios y la mejora continua del producto.

El equipo estuvo conformado por cuatro integrantes, que asumieron distintos roles a lo largo del proyecto, entre ellos: Product Owner (PO), Scrum Master (SM), Project Manager (PM), Líder Técnico (LT), Analista Funcional (AF), Desarrollador Backend (DB), Desarrollador Frontend (DF) y Especialista en Control de Calidad (QC). La distribución de roles se basó en las competencias individuales y permitió una organización efectiva del trabajo.

El desarrollo se estructuró en cinco releases, cada uno compuesto por varios sprints quincenales, que incluyeron las ceremonias típicas de Scrum: planificación, reuniones diarias, revisiones de sprint y retrospectivas. En cada iteración se priorizaron funcionalidades de acuerdo al backlog del producto, definido inicialmente mediante herramientas de Impact Mapping, Story Mapping y User Stories. Los requerimientos fueron refinados y desglosados en historias de usuario, estimadas y distribuidas según la complejidad y valor agregado para el usuario final.

El uso de esta metodología permitió mantener una visión clara del producto, facilitar la toma de decisiones y asegurar la trazabilidad entre los requerimientos iniciales y los entregables desarrollados en cada release.

## 3. Diseño y arquitectura del sistema

El sistema MyCFO fue diseñado siguiendo principios de arquitectura moderna, con el objetivo de lograr una solución escalable, mantenible, segura y orientada al usuario final. Para ello, se adoptó una arquitectura basada en microservicios, que permite desarrollar, desplegar y escalar componentes de manera independiente, facilitando su evolución futura.

Cada uno de los módulos del sistema se implementó respetando el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC), asegurando una clara separación de responsabilidades entre la lógica de presentación (frontend), la lógica de negocio (backend) y la persistencia de datos (base de datos). Esto permite una mayor modularidad, facilidad de pruebas y reutilización de componentes.

El frontend fue desarrollado como una Single Page Application (SPA) utilizando React[2], lo que permite una experiencia de usuario fluida y dinámica, minimizando la carga de páginas y mejorando el tiempo de respuesta. El backend se implementó como una API RESTful utilizando Java con Spring Boot [3], lo cual facilita la exposición de servicios, la orquestación de procesos y la integración con APIs externas.

A nivel de persistencia, se utilizó una base de datos relacional MySQL [4], estructurada de manera modular según las necesidades de cada servicio. La comunicación entre frontend, backend y servicios externos se realiza mediante protocolos seguros (HTTPS), respetando los principios de bajo acoplamiento y alta cohesión.

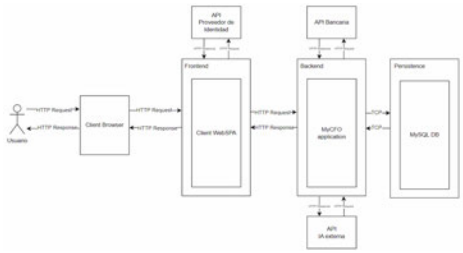



*Figura 1. Arquitectura general del sistema.*
*Fuente: Los autores.*

Esta arquitectura no solo favorece el cumplimiento de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema, sino que también permite mantener una solución flexible, extensible y alineada con las mejores prácticas del desarrollo de software actual.

## 4. Módulos y componentes de la solución

La solución fue concebida como una plataforma web, con funcionalidades distribuidas en distintos componentes que evolucionaron a lo largo de cinco releases.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esta estructura permitió organizar el desarrollo de manera progresiva, abordando primero las funcionalidades esenciales y luego aquellas de mayor complejidad o valor agregado.

Los módulos principales del sistema son:

Módulo de registro y autenticación: Permite a los usuarios crear una cuenta, iniciar sesión y gestionar su perfil. La autenticación se realiza mediante un proveedor externo (Amazon Cognito) y contempla distintos tipos de usuarios: administrador, contribuidor y visualizador.

Módulo de gestión de movimientos: Permite registrar y categorizar ingresos, egresos y movimientos contables. Incluye funcionalidades para editar, eliminar y visualizar operaciones. Es el núcleo operativo del sistema, diseñado para simplificar la carga diaria de datos y asegurar su trazabilidad.

Módulo de consolidación bancaria: Integra información proveniente de cuentas bancarias externas mediante APIs, permitiendo visualizar todos los movimientos en una única interfaz. Este módulo fue desarrollado con foco en la automatización y la visión global del flujo de fondos.

Módulo de reportes: Genera reportes automáticos de tipo económico (ganancias y pérdidas) y financiero (flujo de caja). Permite a los usuarios obtener una visión clara y ordenada de su situación financiera, facilitando el control y la transparencia de sus operaciones.

Módulo de pronósticos: Realiza proyecciones financieras a partir del historial de operaciones cargadas por el usuario, aplicando modelos de forecast. Esta funcionalidad permite anticipar posibles escenarios económicos y tomar decisiones más informadas en función de tendencias pasadas.

Módulo de notificaciones: Envía alertas al usuario ante vencimientos importantes, obligaciones fiscales o desviaciones detectadas en los registros. Mejora la proactividad del usuario y su cumplimiento impositivo.

Módulo de inteligencia artificial: Implementa funcionalidades inteligentes como clasificación automática de movimientos, sugerencias contables y detección de inconsistencias. Este módulo interactúa con un servicio externo (DeepSeek) y representa un diferencial clave de la solución.

Todos los módulos están conectados mediante una API REST central que actúa como backend, desarrollada en Java con Spring Boot. La interfaz de usuario, construida en React, permite interactuar con cada módulo de forma simple e intuitiva. La persistencia de datos está a cargo de una base de datos relacional MySQL, que respalda la consistencia de la información en toda la plataforma.

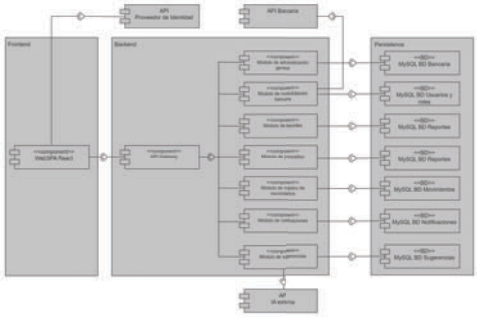


*Figura 2. Diagrama de componentes del sistema. Fuente: Los autores.*

El diseño modular permite extender el sistema en el futuro con nuevas funcionalidades, o adaptar los módulos existentes según las necesidades de distintos perfiles de usuario.

## 5. Integraciones y APIs externas

El sistema MyCFO incorpora múltiples integraciones con servicios externos que potencian su funcionalidad, automatizan procesos clave y aseguran una experiencia de usuario completa y moderna. Estas integraciones no solo facilitan la interoperabilidad con soluciones existentes, sino que también responden a atributos de calidad como escalabilidad, seguridad, automatización y personalización. Las principales APIs utilizadas son:

DeepSeek (servicio de Inteligencia Artificial) [5]: API REST especializada en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático. Permite enviar datos financieros y recibir predicciones, clasificaciones o recomendaciones en formato JSON.
La integración se realiza desde el backend del sistema, mediante solicitudes HTTPS autenticadas, y se utiliza dentro del módulo de inteligencia artificial para:

- Clasificar automáticamente ingresos y egresos según su descripción.
- Sugerir categorías contables apropiadas.
- Generar recomendaciones personalizadas en función del comportamiento financiero del usuario.

Esta integración agrega valor al sistema al brindar funcionalidades inteligentes que reducen la carga operativa y elevan el nivel de análisis disponible para el usuario.
Mercado Pago (servicio de consolidación bancaria) [6]: Esta API permite acceder a información financiera como movimientos de cuentas, saldos y transacciones. Se integra desde el backend para alimentar el módulo de consolidación bancaria con datos en tiempo real. Sus principales usos son:

- Visualizar los saldos actualizados de múltiples cuentas bancarias en una única vista.
- Unificar los movimientos financieros en un solo flujo contable.
- Automatizar alertas ante movimientos inusuales o fechas de vencimiento próximas.

La integración con Mercado Pago permite a MyCFO ofrecer una visión consolidada de las finanzas del usuario, evitando la necesidad de carga manual y mejorando la precisión de los reportes.
Amazon Cognito (proveedor de identidad y autenticación) [7]: Cognito es una plataforma gestionada por AWS que proporciona autenticación segura mediante múltiples métodos: usuario/contraseña, redes sociales o proveedores externos.
En MyCFO, el frontend interactúa directamente con Cognito para:

- Registrar y autenticar usuarios.
- Gestionar sesiones y tokens JWT para validar la identidad.
- Aplicar control de acceso basado en roles (administrador, contribuidor, visualizador).

Esta integración asegura que el sistema mantenga estándares de seguridad elevados sin comprometer la experiencia del usuario, garantizando la protección de la información y el cumplimiento de normativas vigentes.

## 6. Despliegue de la solución

La solución fue diseñada para operar en un entorno de infraestructura escalable y seguro, garantizando su disponibilidad continua y su correcto funcionamiento ante escenarios de carga variable o fallos imprevistos. El despliegue del sistema contempla tanto los aspectos técnicos de infraestructura como las políticas de respaldo y continuidad del negocio.
La arquitectura se encuentra distribuida en múltiples capas, respetando el modelo cliente-servidor:
El frontend, desarrollado como una Single Page Application con React, es accesible desde navegadores web, permitiendo una experiencia fluida para el usuario.
El backend, implementado como una API RESTful con Java y Spring Boot, se ejecuta en contenedores Docker, lo que facilita su portabilidad, aislamiento y escalabilidad horizontal.
La persistencia de datos se gestiona mediante una base de datos relacional MySQL, desplegada en la nube con políticas de alta disponibilidad.
Para orquestar y escalar los servicios, se utiliza Amazon Web Services (AWS) como plataforma de infraestructura. Algunos servicios clave empleados son:

- Amazon ECS + Fargate, para ejecutar los contenedores de backend de forma serverless.
- Amazon RDS, para la gestión segura y confiable de la base de datos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Amazon S3, para almacenar backups periódicos.
- Amazon ELB, para balanceo de carga y alta disponibilidad.
- Amazon Cognito, para autenticación y control de acceso.



*Figura 3. Arquitectura de despliegue en la nube. Fuente: Los autores.*

Además, se implementaron políticas de respaldo de datos siguiendo un esquema mixto:

- Backups completos semanales con una retención de 14 días.
- Backups incrementales diarios, retenidos por 7 días.

Estos backups se almacenan en buckets de Amazon S3. El tiempo estimado de recuperación ante fallos es de 1 hora, mientras que la pérdida máxima de datos se limita a 24 horas.

También se consideraron aspectos clave de seguridad, como el uso de HTTPS para todas las comunicaciones, cifrado en reposo de la base de datos (AES-256), control de acceso por roles, y manejo seguro de tokens de sesión. Estas prácticas aseguran la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información sensible gestionada por la plataforma.

Gracias a este enfoque de despliegue, MyCFO puede ser operado de forma robusta, escalable y segura, adaptándose a las necesidades reales de freelancers y startups

**Trabajos Relacionados**

La problemática abordada por MyCFO ha sido tratada parcialmente en otras soluciones tecnológicas del mercado, principalmente por aplicaciones de gestión contable como QuickBooks [8], Xubio [9] y Contabilium [10], entre otras. Estas plataformas ofrecen funcionalidades como el registro de operaciones, generación de reportes y liquidación de impuestos, sin embargo, presentan limitaciones importantes en el contexto local argentino y en su orientación hacia usuarios no especializados.

En el caso de QuickBooks, su enfoque está orientado a pequeñas empresas con estructuras contables más formales, lo cual puede resultar complejo para freelancers o emprendimientos incipientes. Por otro lado, soluciones como Xubio, aunque adaptadas al marco impositivo argentino, requieren conocimientos contables para su uso eficiente, lo que limita su accesibilidad. Además, muchas de estas herramientas tienen costos fijos mensuales, lo cual representa una barrera de entrada para trabajadores independientes en etapas iniciales.

A diferencia de estos enfoques, MyCFO propone una solución centrada en la experiencia del usuario no contable, con una interfaz amigable, funcionalidades automatizadas, recomendaciones inteligentes y una arquitectura escalable. La incorporación de inteligencia artificial para la categorización de movimientos y la consolidación bancaria automática son diferenciales clave que no suelen estar presentes de forma integrada en otras propuestas.

Si bien existen desarrollos académicos previos relacionados con sistemas de gestión financiera, en general tienden a focalizarse en empresas o procesos contables formales. En este sentido, MyCFO se posiciona como una solución novedosa y específica para un segmento desatendido, aportando una perspectiva innovadora al abordar el problema desde una óptica técnica, económica y de experiencia de usuario combinada.

**Resultados y discusión**

Al momento de la redacción de este trabajo, el producto se encuentra en la fase inicial de desarrollo, habiéndo completado la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



planificación, el análisis de requerimientos, la arquitectura del sistema y el diseño de los módulos principales. Si bien no se dispone aún de resultados empíricos sobre el uso de la plataforma por parte de usuarios finales, el proceso de desarrollo ha permitido validar la viabilidad técnica y funcional de la propuesta.

Durante los primeros sprints, se avanzó en la construcción de la estructura base del sistema y en la definición de los principales componentes arquitectónicos.

Si bien aún no se cuenta con una validación funcional completa, los resultados obtenidos hasta el momento permiten confirmar la viabilidad técnica y la coherencia de la propuesta. Las decisiones de diseño adoptadas, tales como la arquitectura de microservicios y el uso de tecnologías modernas, fueron evaluadas conceptualmente y planificadas para su implementación progresiva.

El sistema se encuentra en una etapa de desarrollo previa a la puesta en marcha, por lo que no se dispone todavía de métricas empíricas de rendimiento o adopción.

Asimismo, la organización modular del sistema y el enfoque ágil permitieron descomponer el problema en entregables manejables, facilitando la evolución progresiva del producto. El diseño del sistema y su enfoque centrado en el usuario sugieren un alto potencial de impacto en el público objetivo.

En futuras etapas del proyecto se espera completar el desarrollo de todos los módulos funcionales, validar su comportamiento mediante pruebas unitarias y de integración, y realizar pruebas de usuario para evaluar la experiencia y el valor percibido por los destinatarios del sistema.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El trabajo presentado representa la construcción y documentación técnica del sistema MyCFO, desarrollado como respuesta a una problemática real y creciente en el ámbito emprendedor: la falta de herramientas accesibles y adaptadas a las necesidades de freelancers y startups para gestionar sus finanzas de forma organizada, automatizada y profesional.

A partir de un análisis riguroso de requerimientos funcionales y no funcionales, se diseñó una solución modular, escalable y segura, apoyada en tecnologías modernas y principios de ingeniería de software de calidad.

Si bien el proyecto se encuentra actualmente en una etapa de desarrollo y validación conceptual, se han establecido bases sólidas desde el punto de vista arquitectónico y metodológico. La elección de una arquitectura de microservicios, el uso de una infraestructura cloud robusta y la incorporación planificada de inteligencia artificial mediante APIs externas representan decisiones de diseño que posicionan a MyCFO como una propuesta diferenciadora dentro de su segmento.

Entre las principales limitaciones actuales se destacan la ausencia de validación empírica con usuarios finales y la falta de métricas derivadas de su uso real, dado que la solución aún no ha sido desplegada en un entorno operativo. No obstante, MyCFO apunta a una solución centrada en el usuario sin conocimientos contables, priorizando la simplicidad, la automatización y el soporte inteligente en la toma de decisiones.

Se espera que, en etapas posteriores, el desarrollo completo del prototipo funcional de MyCFO permita evaluar su eficiencia y usabilidad mediante pruebas controladas con usuarios representativos, demostrando su potencial para reducir el tiempo dedicado a tareas contables manuales y mejorar la precisión en el registro de transacciones financieras. Del mismo modo, se proyecta que la plataforma evidencie una alta usabilidad gracias a una interfaz intuitiva y que su arquitectura basada en microservicios garantice la escalabilidad necesaria para acompañar el crecimiento de sus usuarios. Finalmente, se prevé la validación de la arquitectura propuesta como una solución técnica viable, consolidando los aportes del proyecto tanto

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en el plano académico como en el profesional.

Como líneas de trabajo futuras se propone:

- Completar la implementación funcional de todos los módulos del sistema.
- Realizar pruebas de usabilidad con usuarios reales que permitan refinar la experiencia y validar hipótesis de diseño.
- Incorporar nuevas integraciones con otros servicios financieros.
- Evaluar métricas de impacto y adoptar enfoques de mejora continua sobre la base de los datos recolectados.
- Desarrollar una versión mobile/desktop que permita extender el alcance de la solución.

En síntesis, MyCFO constituye un aporte académico y técnico en la construcción de una herramienta orientada a la democratización de la gestión financiera digital, sentando las bases para su futura validación práctica y su posible evolución hacia una solución funcional y escalable.

**Agradecimientos**

Expresamos nuestro agradecimiento a la cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por el acompañamiento constante, así como a los profesores responsables del curso por su guía y apoyo durante el desarrollo del proyecto.

**Referencias**

[1] Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. Disponible en: https://scrumguides.org/

[2] React – A JavaScript library for building user interfaces, Meta. Disponible en: https://react.dev/

[3] Spring Boot Documentation, The Spring Team. Disponible en: https://spring.io/projects/spring-boot

[4] MySQL 8.0 Reference Manual, Oracle. Disponible en: https://dev.mysql.com/doc/

[5] DeepSeek API Documentation. Disponible en: https://api-docs.deepseek.com/

[6] Mercado Pago Developers, Mercado Libre. Disponible en: https://www.mercadopago.com.ar/developers/es

[7] AWS Documentation – Amazon Cognito, Amazon Web Services. Disponible en: https://docs.aws.amazon.com/cognito/

[8] QuickBooks, Intuit Inc. Disponible en: https://quickbooks.intuit.com/

[9] Xubio – Software de Gestión Online para PyMEs y Contadores. Disponible en: https://www.xubio.com/ar/

[10] Contabilium – Facturación, contabilidad y gestión online. Disponible en: https://contabilium.com/

**Datos de Contacto:**

*Cassina Carbia, Federico. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. fcassinacarbia@frba.utn.edu.ar*

*Fedorenko, Martin. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. mfedorenko@frba.utn.edu.ar*

*Otero, Erik Leonel. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. eotero@frba.utn.edu.ar*

*Del Campo Kenny, Francisco. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. fdelcampokenny@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# De la Complejidad al Uso Cotidiano: Cómo Diseñar y Desplegar Agentes Inteligentes de Forma Accesible

**Liahaff, Uriel Damian; Affre, Lucas Gabiel; Mirleni, Simón; Rizzo, Bruno; Carriquiry Castro, Joaquin**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

La inteligencia artificial se ha consolidado como una tecnología estratégica con impacto transversal en múltiples sectores productivos y sociales. Sin embargo, su adopción sigue siendo desigual: mientras grandes corporaciones acceden a infraestructura y talento especializado, pequeñas y medianas empresas enfrentan altos costos, complejidad técnica y falta de recursos humanos. Esta concentración genera una brecha tecnológica que amenaza con excluir a pequeñas y medianas empresas, así como a organizaciones sociales, de los beneficios de la digitalización avanzada. Con el objetivo de abordar este problema, el presente trabajo presenta ***Agentum***, una plataforma diseñada para transformar esa dinámica mediante un enfoque low-code/no-code que posibilita la creación y despliegue de agentes inteligentes de manera intuitiva y accesible. La propuesta se desarrolló siguiendo una metodología exploratorio-aplicativa, basada en la revisión bibliográfica, el análisis comparativo y el diseño iterativo de un prototipo funcional. A través de un piloto inicial en el sector hotelero y su proyección hacia áreas como educación, salud y logística evidencian el potencial de la herramienta para transformar procesos, reducir costos y ampliar la inclusión digital. Se sostiene que *Agentum* constituye un aporte original para acercar la inteligencia artificial a las PYMEs y organizaciones sociales, generando un impacto tanto en la productividad como en la cohesión social.

**Palabras Clave**

Inteligencia artificial, agentes inteligentes, democratización tecnológica, plataformas low-code/no-code, PYMEs, brecha digital, orquestación de agentes, inclusión digital

## Introducción

En la última década, la inteligencia artificial (IA) ha pasado de ser una tecnología emergente a consolidarse como una fuerza transformadora en ciencia, industria y sociedad. Sus aplicaciones han demostrado un enorme potencial para fortalecer la competitividad de las organizaciones, aumentar la eficiencia y abrir nuevas oportunidades de desarrollo socioeconómico.

Sin embargo, junto con estas oportunidades, también surgen grandes desafíos. Mientras grandes organizaciones con recursos técnicos y económicos acceden a modelo extenso de lenguaje (LLM) y sistemas avanzados, muchas pequeñas y medianas empresas (PYMEs) se enfrentan a obstáculos que limitan su incorporación: complejidad de su implementación, altos costos y la necesidad de especialistas han restringido su adopción masiva, dejando fuera a muchas organizaciones que podrían beneficiarse de ella. Esta situación ha generado una brecha tecnológica que, más que reducirse, amenaza con ampliarse en los próximos años.

Con el fin de reducir la brecha tecnológica, este trabajo se centra en el desarrollo de *Agentum*, una plataforma concebida para democratizar el futuro de la IA, transformando la complejidad de la misma en una experiencia intuitiva y configurable. El presente trabajo presenta el fundamento de la propuesta, la arquitectura y las aplicaciones prácticas de la solución en diferentes ámbitos tanto productivos como sociales. Los objetivos específicos son: (1) describir el estado actual de la adopción de IA y las barreras que dificultan su uso en PYMEs; (2) exponer los fundamentos conceptuales y de diseño de *Agentum*; (3) explicar su arquitectura técnica y principios de implementación; y (4) ejemplificar su aplicabilidad mediante casos de uso en distintos sectores productivos y sociales.

## 1. Fundamentación conceptual

### 1.1. IA como tecnología habilitadora

La IA carece de una definición única y universalmente aceptada, lo que refleja tanto la complejidad del fenómeno como su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



carácter evolutivo. A lo largo de la historia, se ha intentado caracterizarla desde distintos enfoques: algunos la conciben como la capacidad de los sistemas computacionales para imitar habilidades humanas complejas [1], mientras que otros destacan su potencial para percibir el entorno, tomar decisiones autónomas y aprender de la retroalimentación [2]. Esta diversidad de perspectivas no es fortuita, ya que la IA busca simular procesos cognitivos humanos que aún no comprendemos del todo. En consecuencia, más que un concepto estático, la IA se entiende como un campo dinámico que abarca desde algoritmos clásicos hasta técnicas avanzadas como el aprendizaje profundo, y cuya definición continuará transformándose a medida que la disciplina avance [3].

La evolución de la inteligencia artificial se remonta a 1943, cuando McCulloch y Pitts presentaron el primer modelo de neuronas artificiales, inaugurando una disciplina que en los años siguientes se consolidó con aportes como el Test de Turing (1950) y la conferencia de Dartmouth (1956), donde se acuñó el término *"IA"* [4]. Tras periodos de entusiasmo y crisis conocidos como *"inviernos de la IA"*, los sistemas expertos de las décadas de 1970 y 1980 dieron paso a un nuevo hito en 1997, cuando Deep Blue derrotó al campeón mundial de ajedrez Garry Kasparov [5]. Desde entonces, la IA vivió un resurgimiento impulsado por el aprendizaje profundo, con avances decisivos como el modelo de lenguaje probabilístico (2000) [6], la popularización del deep learning por Geoffrey Hinton (2006) [7], la victoria de AlexNet en ImageNet (2012) [8], el desarrollo de las GANs (2014) [9] y la hazaña de AlphaGo al superar al campeón mundial de Go (2016) [10]. En 2017 la introducción de los Transformers transformó el procesamiento del lenguaje natural [11], permitiendo el surgimiento de modelos como GPT-2 (2019), GPT-3 (2020), ChatGPT (2022), GPT-4 (2025) y más recientemente, la llegada de GPT-5 con capacidades multimodales [12], junto con innovaciones como la generación de agentes de IA, sistemas capaces de coordinar múltiples modelos y herramientas de manera autónoma, planificar tareas complejas y ejecutar acciones en entornos reales, reflejan cómo la IA [13] ha pasado de ser un concepto teórico a convertirse en un eje central de la transformación tecnológica, económica y social a nivel mundial.

**Tabla 1**

*Evolución histórica de la IA por períodos*

| Período | Principales hitos |
|---|---|
| 1943<br>1960 | McCulloch y Pitts crean el primer modelo de neuronas artificiales. Turing propone su famoso test. Conferencia de Dartmouth acuña el término "IA". |
| 1960<br>1980 | Primeras aplicaciones prácticas y auge de la lógica simbólica.<br>Desarrollo de sistemas expertos iniciales. Primeros "inviernos de la IA" por limitaciones tecnológicas. |
| 1980<br>2000 | Popularización de los sistemas expertos (DENDRAL, MYCIN).<br>Invierno de la IA en los 80.<br>Resurgimiento con el aprendizaje automático y redes neuronales.<br>Deep Blue derrota a Kasparov. |
| 2000<br>2020 | Modelo probabilístico de lenguaje.<br>Impulso al deep learning por Hinton.<br>AlexNet y AlphaGo. GANs y Transformers. GPT-2 y GPT-3. |
| 2020<br>2025 | Popularización global con ChatGPT.<br>GPT-4 y GPT-5 con capacidades multimodales. Agentes de IA. |

*Nota. Periodo 1943-2025*

La IA no solo representa un avance tecnológico, sino que también constituye un motor de transformación socioeconómica. En el plano productivo, ha permitido optimizar procesos en varias industrias, incrementando la eficiencia y reduciendo costos operativos [14]. A nivel social, la IA genera nuevas oportunidades de empleo en áreas como el análisis de datos, la automatización de procesos y el desarrollo de aplicaciones inteligentes, aunque

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



también plantea riesgos de desplazamiento laboral en ocupaciones rutinarias [15]. Asimismo, su adopción impulsa la competitividad de las organizaciones y facilita la creación de nuevos modelos de negocio, consolidándose como un factor estratégico en la economía digital.

A pesar del potencial transformador de la IA, su adopción masiva continúa siendo desigual. Muchas organizaciones, en especial las PYMEs, encuentran barreras que dificultan su acceso, lo que genera una brecha tecnológica creciente frente a las grandes corporaciones. Esta brecha, vinculada a limitaciones económicas, de talento humano y de infraestructura, constituye uno de los principales desafíos actuales en la consolidación de la IA como herramienta de uso cotidiano [16].

### 1.2. Brecha tecnológica en la adopción de IA

La adopción de IA no avanza de manera homogénea entre organizaciones. Mientras que las grandes corporaciones logran incorporar soluciones avanzadas de IA en sus operaciones, las PYMEs enfrentan múltiples obstáculos que limitan seriamente su acceso.

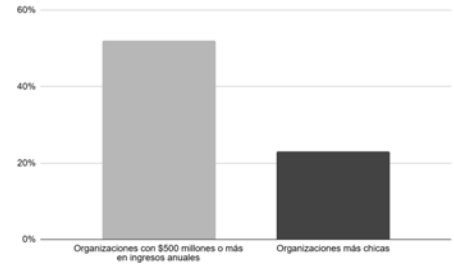



Figura 1. Porcentaje de organizaciones que establecieron un equipo dedicado a impulsar la adopción de IA general. [52]

En primer lugar, la complejidad técnica y la falta de transparencia de los sistemas de IA se constituyen como una de las principales barreras. Muchos modelos son percibidos como “cajas negras” cuya lógica interna resulta difícil de comprender, lo que genera desconfianza y resistencia cognitiva entre directivos y empleados [17]. A ello se suman temores relacionados con la pérdida de control, la invasividad de los sistemas y la percepción de que la IA puede desplazar tareas humanas, lo que incrementa la resistencia psicológica y organizacional [18].

En segundo lugar, los altos costos de infraestructura y de implementación representan un obstáculo central. Si bien muchas PYMEs están utilizando herramientas de inteligencia artificial de bajo costo o incluso gratuitas, la transición hacia soluciones personalizadas implica costos significativamente más altos. En efecto, la implementación de sistemas complejos de IA puede oscilar entre los 10.000 y el millón de dólares, con gastos de mantenimiento equivalentes al 20–50% de la inversión inicial, lo que constituye una barrera de entrada considerable para las PYMEs que no cuentan con capital suficiente [19]. Esta dicotomía genera un escenario en el que los negocios pequeños pueden acceder a beneficios iniciales mediante herramientas comunes y freemium, pero enfrentan serias limitaciones si requieren escalabilidad o seguridad avanzada en sus operaciones [20].

En tercer lugar, la escasez de talento especializado constituye un freno decisivo para la incorporación de inteligencia artificial en las PYMEs. El desarrollo y mantenimiento de sistemas de IA exige profesionales altamente capacitados en áreas como ciencia de datos, aprendizaje automático y gestión de infraestructuras cloud, perfiles que actualmente son escasos y de alta demanda a nivel global. Esta situación genera una doble limitación: por un lado, incrementa el costo de contratación al competir con grandes corporaciones por el mismo capital humano, y por otro, obliga a muchas empresas pequeñas a depender de proveedores externos para cubrir estas carencias [21]. Además, esta falta de especialistas restringe la capacidad de las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



organizaciones para diseñar estrategias propias de innovación y dificulta la transferencia de conocimiento dentro de los equipos, consolidando una brecha estructural en el acceso y aprovechamiento de la IA [22].




Figura 2. % de empresas que dicen que la IA es una prioridad estratégica para sus negocios hoy en día, pero no hay suficiente talento en ciencia de datos. [56]

Finalmente, la concentración de recursos en grandes corporaciones constituye otro factor que profundiza la brecha en la adopción de IA. Las compañías líderes poseen ventajas estructurales, como acceso prioritario a infraestructura avanzada, capacidad de inversión en investigación y desarrollo, y el dominio de grandes volúmenes de datos, que les permiten capitalizar de manera acelerada los beneficios de la IA [23]. Esta concentración no solo genera una ventaja competitiva sostenida para un grupo reducido de actores, sino que también refuerza dinámicas de desigualdad tecnológica al dejar a PYMEs en una posición periférica dentro de la economía digital [24]. En consecuencia, la innovación tiende a quedar centralizada en pocos polos de poder económico, reproduciendo asimetrías en el acceso y uso de la tecnología.

### 1.3. Democratización de la IA

La adopción amplia de la inteligencia artificial por parte de PYMEs, startups y organizaciones no técnicas no es sólo deseable desde una perspectiva de modernización: es una condición para la competitividad, la resiliencia y la inclusión económica en mercados cada vez más digitales. Las PYMEs constituyen la mayor parte del tejido productivo en la mayoría de las economías y, por ende, su acceso a herramientas de IA tiene un efecto multiplicador sobre empleo, innovación y desarrollo local; sin facilitar ese acceso, las ventajas productivas de la IA tienden a concentrarse en grandes corporaciones y a agravar las asimetrías tecnológicas existentes [25].

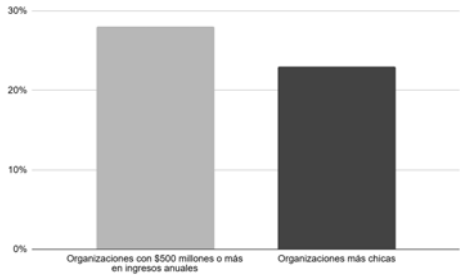



Figura 3. Porcentaje de organizaciones que integran soluciones de inteligencia artificial generativas en los procesos de negocio de manera eficaz. [53]

Las PYMEs que adoptan IA obtienen varios beneficios: mejoras en productividad, reducción de costos, optimización de cadenas de suministro, personalización del servicio al cliente y nuevas oportunidades de negocio que permiten escalar mercados y procesos. Estas ganancias son determinantes para la supervivencia y el crecimiento de PYMEs en entornos competitivos. [26]. Asimismo, estudios aplicados plantean que la integración de IA puede transformar funciones rutinarias liberando capacidad humana para tareas de mayor valor, lo que favorece la innovación interna y la generación de ventajas competitivas sostenibles [27].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



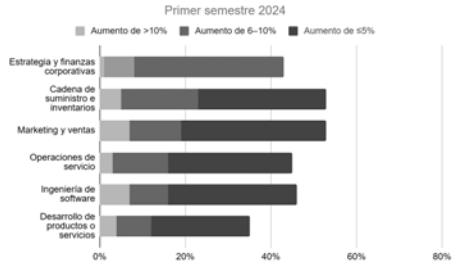



Figura 4. Porcentaje de aumento de los ingresos en las unidades de negocio gracias al uso de IA generativa en el primer semestre de 2024 [54]

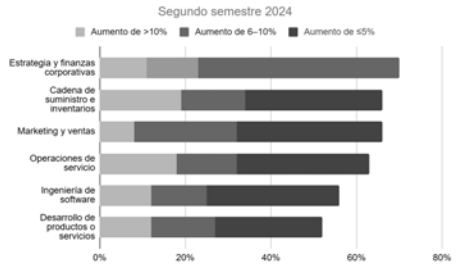



Figura 5. Porcentaje de aumento de los ingresos en las unidades de negocio gracias al uso de IA generativa en el primer semestre de 2024. [55]

No obstante, existen varias barreras que limitan esa expansión: altos costes iniciales y de mantenimiento, escasez de talento especializado, preocupaciones sobre privacidad y seguridad de datos, y la complejidad técnica que vuelve a la IA una "caja negra" para muchas organizaciones. Estas barreras no son meramente técnicas sino también organizacionales e institucionales, lo que explica por qué la adopción no se distribuye homogéneamente [30][31].

Frente a esas barreras, el proceso de democratización debe ser entendido como un conjunto de componentes complementarios: accesibilidad tecnológica y educativa, modelos de costo asequibles, usabilidad (herramientas diseñadas para usuarios no técnicos) y marcos éticos/regulatorios que generen confianza.

Un marco conceptual reciente identifica precisamente accesibilidad, asequibilidad, usabilidad y consideraciones éticas/regulatorias como pilares para que la IA deje de ser exclusiva de expertos, y pase a ser una herramienta usable por actores no técnicos [32].

Entre las estrategias prácticas para acercar la IA a PYMEs y organizaciones no técnicas, se destacan dos líneas que resultan especialmente relevantes: (1) la provisión de ecosistemas de apoyo, subsidios, asociaciones público-privadas, hubs de innovación y programas de formación, que mitiguen las limitaciones financieras y de capital humano; y (2) la difusión de plataformas y metodologías que reduzcan la carga técnica, como los entornos low-code/no-code y servicios en la nube que ofrecen modelos preentrenados e integraciones sencillas. Ambas vías han sido señaladas como efectivas para acelerar la adopción y permitir experimentación a bajo coste [33][34].

En particular, las plataformas low-code/no-code funcionan a modo de habilitador práctico de la democratización: permiten a "ciudadanos desarrolladores" construir soluciones IA sin escribir código, acortan tiempos de despliegue y reducen la dependencia de equipos de data science costosos. Estas plataformas, sin embargo, también plantean límites (personalización, escalabilidad y riesgos de gobernanza) que deben gestionarse mediante buenas prácticas y soporte técnico [35].

## 2. Diseño general de la plataforma *Agentum*

### 2.1. Principios de diseño y objetivos

La plataforma *Agentum* se fundamenta en una filosofía de diseño centrada en la accesibilidad, escalabilidad, seguridad y experiencia de usuario. Se busca democratizar el uso de agentes inteligentes, permitiendo que organizaciones de distintos tamaños puedan crear, configurar y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



desplegar soluciones de IA sin requerir conocimientos técnicos avanzados.
Los objetivos centrales son:

- Accesibilidad: interfaz intuitiva para usuarios no técnicos.
- Escalabilidad: infraestructura adaptable a diferentes volúmenes de agentes y datos.
- Seguridad: cumplimiento de estándares de protección de información sensible.
- Experiencia de usuario: diseño enfocado en la simplicidad, minimizando la curva de aprendizaje.

### 2.2. Arquitectura de alto nivel

*Agentum* adopta una arquitectura modular y distribuida, sustentada en tecnologías abiertas y probadas:

- Backend desarrollado en Django (Python), responsable de la lógica de negocio, gestión de agentes y orquestación de flujos.
- Frontend en React, diseñado para ofrecer una interfaz responsiva, moderna y accesible.
- Base de datos PostgreSQL, para garantizar integridad y consistencia en el almacenamiento de configuraciones, conversaciones y métricas.
- Despliegue en AWS, utilizando servicios de contenedores (Docker y potencialmente ECS/EKS) y pipelines CI/CD para asegurar disponibilidad, escalabilidad y actualizaciones continuas

### 2.3. Orquestación de agentes inteligentes

La orquestación de agentes inteligentes en *Agentum* se sustenta en la integración de LLMs con el marco de trabajo LangChain, un entorno de código abierto diseñado para facilitar la creación de aplicaciones sensibles al contexto. LangChain provee abstracciones y componentes que permiten estructurar cadenas de peticiones y personalizar plantillas, de modo que los LLMs puedan generar respuestas más precisas y relevantes en entornos específicos [36]. A través de esta integración, los agentes de *Agentum* son capaces de conectarse a fuentes de datos internas, realizar consultas y aplicar técnicas como la *generación aumentada de recuperación (RAG)*, lo que reduce alucinaciones y mejora la confiabilidad de las respuestas [37].

## 3. Metodología de desarrollo e implementación

### 3.1. Estrategia de construcción iterativa

El desarrollo de la plataforma *Agentum* se guió por una estrategia iterativa basada en metodologías ágiles, lo que permitió avanzar en ciclos cortos de construcción, validación y ajuste. Cada iteración incorporó prototipos funcionales, que fueron validados tempranamente con los usuarios finales para asegurar la pertinencia de las funcionalidades. El enfoque de feedback continuo garantizo la detección oportuna de mejoras y redujo el riesgo de desviaciones respecto a los objetivos del proyecto.

### 3.2. Integración de seguridad y cumplimiento normativo

Dado que *Agentum* utiliza inteligencia artificial para automatizar tareas, la plataforma se desarrolló siguiendo los principios éticos y las orientaciones oficiales vigentes en Argentina, incluso en ausencia de una ley específica sobre IA, incorporando los siguientes lineamientos clave:

- **Supervisión humana**: todas las acciones automatizadas pueden ser revisadas por personas reales, alineándose con las recomendaciones de UNESCO, adoptadas por Argentina. [38]
- **Transparencia**: se comunica claramente al usuario si está interactuando con un agente de IA o con una persona física, en línea con la Guía de la AAIP. [39]
- **Privacidad y no discriminación**: la plataforma evita el uso de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



algoritmos que discriminen por categorías sensibles.
- **Trazabilidad**: cada acción del sistema es registrada con fecha y hora, habilitando auditorías.

### 3.3. Metodología del trabajo y enfoque formativo

El desarrollo de este trabajo siguió una metodología de tipo **exploratorio-aplicativo**, orientada a la construcción de una solución tecnológica basada en la revisión bibliográfica, el análisis comparativo y el diseño iterativo de un prototipo funcional.

En una primera etapa, se realizó una revisión bibliográfica profunda sobre los fundamentos de la IA, la evolución de los modelos, las barreras de adopción en PYMEs y los enfoques low-code/no-code como vía de democratización tecnológica.

En una segunda etapa, se llevó a cabo un análisis comparativo entre trabajos existentes con el fin de identificar buenas prácticas, vacancias y oportunidades de mejora que guiarán el diseño de *Agentum*.

La tercera etapa correspondió al diseño e implementación del prototipo, aplicando principios de ingeniería de software y metodologías ágiles. Se desarrollaron módulos en Django y React, junto con la integración de LLMs mediante LangChain.

Finalmente, se efectuó una validación funcional a través de un caso de uso real , lo que permitió analizar la aplicabilidad del sistema en entornos productivos y obtener retroalimentación sobre su impacto potencial en la reducción de costos y la mejora de la eficiencia operativa.

Este enfoque metodológico permitió combinar la investigación conceptual con la aplicación práctica, fortaleciendo la coherencia entre el objetivo general del trabajo y los resultados alcanzados.

## 4. Casos de uso y aplicaciones prácticas

### 4.1. Sector hotelero: piloto con Club Inn

El primer piloto de *Agentum* se desarrolló junto a Club Inn, una empresa familiar argentina con casi 30 años de experiencia en la industria hotelera y más de 10.000 clientes [40]. La colaboración tuvo como objetivo optimizar la gestión de reservas, mejorar la atención al cliente y fortalecer la fidelización, pilares clave para una compañía que se distingue por su trato cercano y profesional.

Con la integración de los agentes inteligentes de *Agentum*, Club Inn pudo automatizar procesos repetitivos como la gestión de reservas en múltiples canales, la respuesta a consultas frecuentes de los huéspedes y la segmentación de clientes para campañas personalizadas de fidelización. Esto liberó al personal de tareas operativas y les permitió enfocarse en lo que constituye el diferencial de la empresa: un servicio humano cálido, flexible y adaptado a las necesidades de cada viajero.

El impacto esperado del piloto no se mide solo en eficiencia operativa, sino también en la experiencia de los huéspedes, quienes reciben respuestas más rápidas, servicios mejor personalizados y una comunicación clara en cada etapa del viaje.

### 4.2. Extensión a otros sectores productivos

Si bien el piloto inicial se concentra en la industria hotelera, la arquitectura flexible de *Agentum* permite su extensión a diversos sectores productivos. Un ejemplo inmediato es su potencial para funcionar como un sistema de gestión de relaciones con clientes (CRM), centralizando interacciones, historiales y preferencias de usuarios para fortalecer la fidelización y la toma de decisiones estratégicas en empresas de cualquier tamaño. [41]

En el sector salud, podría aplicarse para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



gestionar turnos médicos, enviar recordatorios automáticos, brindar respuestas iniciales a consultas frecuentes y facilitar la comunicación entre pacientes y profesionales, mejorando la accesibilidad y reduciendo la carga administrativa. En educación, los agentes inteligentes pueden apoyar la personalización del aprendizaje, atender consultas de estudiantes, gestionar inscripciones y ofrecer seguimiento automatizado del progreso académico. En logística, su integración facilitaría la coordinación de envíos, la trazabilidad de paquetes y la comunicación proactiva con clientes ante demoras o incidencias, optimizando la eficiencia operativa.

De esta forma, *Agentum* no se limita a un sector específico, sino que constituye una plataforma adaptable y transversal, capaz de integrarse en entornos donde la gestión de clientes, la automatización de procesos y la comunicación eficiente son factores decisivos para la competitividad.

### 4.3. Impacto social y comunitario

Más allá de su aplicación en el sector productivo, *Agentum* tiene un alto potencial de impacto social y comunitario. En el ámbito de las ONGs, puede convertirse en una herramienta clave para gestionar donaciones, coordinar voluntarios y mantener una comunicación transparente con las comunidades beneficiarias, optimizando recursos que suelen ser limitados y reforzando la confianza social. En los gobiernos locales, la plataforma puede apoyar la atención ciudadana mediante canales automatizados para responder consultas, gestionar turnos o reclamos y ofrecer información en tiempo real, contribuyendo a una administración más cercana y eficiente. Finalmente, en iniciativas educativas y comunitarias, *Agentum* puede servir como tutor virtual o asistente académico, facilitando el acceso a información, recordatorios de actividades y acompañamiento en procesos de formación continua.

En conjunto, estos usos refuerzan la visión de *Agentum* como una tecnología no solo orientada a la productividad empresarial, sino también al fortalecimiento del tejido social, ampliando las oportunidades de inclusión digital y contribuyendo a una interacción más justa y accesible.

### Trabajos Relacionados

Un trabajo relacionado en el mercado es Make, una plataforma de automatización que permite conectar aplicaciones, servicios y bases de datos para crear flujos de trabajo automatizados [42]. Su fortaleza radica en un editor visual intuitivo, una amplia gama de integraciones y herramientas avanzadas de gestión de datos, lo que la convierte en una opción versátil para la orquestación de procesos digitales [43]. Sin embargo, su enfoque está orientado principalmente a la automatización de tareas genéricas y no específicamente a la construcción de agentes inteligentes, lo que limita su aplicabilidad en escenarios donde se requiere autonomía, interacción contextual o planificación compleja. Además, la configuración de flujos avanzados puede resultar difícil de depurar. [44]. En contraste, *Agentum* se posiciona como una solución diseñada desde su concepción para la creación y despliegue de agentes inteligentes, priorizando no sólo la simplicidad de uso sino también la personalización, la interacción con canales externos y la incorporación de integraciones adaptadas al contexto local. Esto le otorga una ventaja significativa al enfocarse directamente en la democratización del acceso a agentes de inteligencia artificial para PYMEs y organizaciones no técnicas.

Otro trabajo relacionado es **n8n**, una plataforma de automatización de código abierto que permite construir flujos de trabajo mediante un editor visual con varias integraciones disponibles, además de flexibilidad para incorporar lógica personalizada [45]. Su propuesta combina opciones no-code, lo que la convierte en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



una herramienta atractiva para organizaciones que valoran el control total sobre sus datos gracias a la posibilidad de autohospedaje [46]. No obstante, esta flexibilidad viene acompañada de una curva de aprendizaje pronunciada para usuarios no técnicos, así como de la necesidad de gestionar de forma independiente los costos de servicios de IA externos, lo que añade complejidad para pequeñas empresas u organizaciones sin experiencia técnica [47]. En contraste, ***Agentum*** se diferencia al priorizar la simplicidad de uso, eliminando la dependencia de conocimientos avanzados en programación, e integrando de manera nativa las capacidades de agentes inteligentes junto con consultoría y acompañamiento continuo. Esto permite a PYMEs acceder a la automatización basada en IA sin la carga técnica de plataformas, favoreciendo la democratización de soluciones de IA.

Otro trabajo relacionado es **Relevance AI**, reconocido por su enfoque no-code que facilita la creación y despliegue de agentes inteligentes a usuarios sin experiencia en programación [48]. Sin embargo, presenta limitaciones como un número reducido de integraciones nativas, costos poco predecibles al escalar, y un proceso de onboarding y soporte que no siempre resulta satisfactorio [49][50]. Por su parte, **Lindy.ai** se destaca por su interfaz intuitiva, una amplia biblioteca de integraciones con más de 7.000 servicios y la capacidad de construir flujos, aunque sufre de una fuerte dependencia de dichas integraciones, costos crecientes al escalar, restricciones en la elección de modelos de lenguaje y la ausencia de soporte offline [51]. En contraste, *Agentum* se orienta principalmente a PYMEs, aunque con capacidad de escalar hacia empresas mayores, y se diferencia al ofrecer un enfoque más cercano y humano, con acompañamiento en consultoría y capacitación, junto con una experiencia de usuario que prioriza la simplicidad y personalización. Además, incorpora integraciones directas a canales externos como WhatsApp o correo electrónico, ampliando la interacción hacia clientes finales. Un aspecto crítico donde *Agentum* aporta valor diferencial es su adaptación al contexto argentino, integrando o proyectando integraciones con herramientas locales como Correo Argentino o ARCA, un terreno en el que trabajos internacionales no cuentan con soporte.

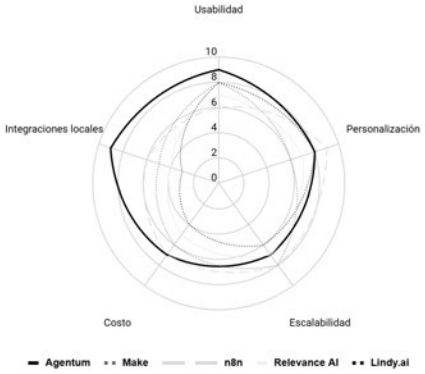



Figura 6. Comparativa – *Agentum* y Otros Trabajos

**Conclusión y Trabajos Futuros**

La plataforma *Agentum* se presenta como una contribución original al campo de la democratización de la IA. Este trabajo presentó el diseño, fundamentación y aplicaciones iniciales de *Agentum* como plataforma destinada a democratizar el acceso a agentes inteligentes en PYMEs y organizaciones no técnicas. Los resultados preliminares sugieren que la propuesta ofrece un camino viable para reducir la brecha tecnológica en la adopción de IA, al priorizar la accesibilidad y la simplicidad de uso. Más allá de las validaciones iniciales, este trabajo plantea un horizonte de investigación y desarrollo con alto potencial transformador. A corto plazo, los esfuerzos se concentrarán en robustecer la arquitectura y ampliar los pilotos a diferentes sectores. A mediano plazo, se buscará integrar capacidades multimodales, expandir las funcionalidades de personalización y fortalecer la interoperabilidad con marcos regulatorios en evolución. A largo plazo, el desafío

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



consiste en evaluar el impacto de *Agentum* como política tecnológica para reducir la brecha digital, entendiendo la plataforma no sólo como un producto, sino como un catalizador de innovación inclusiva en América Latina.

En esta instancia, el presente trabajo se presenta como una monografía bien fundamentada; sin embargo, se proyecta como línea futura la realización de una investigación empírica que permita recolectar datos cuantitativos y cualitativos sobre el impacto de *Agentum* en PYMEs y organizaciones sociales.

En este sentido, el camino abierto por *Agentum* trasciende la dimensión técnica: representa un aporte a la discusión global sobre cómo la IA puede ser utilizada para cerrar brechas, en lugar de ampliarlas, y se configura como un espacio fértil para futuras investigaciones que integren tecnología, economía y sociedad.

**Agradecimientos**

Agradecemos a todas las personas y organizaciones que contribuyeron al desarrollo de este trabajo, en especial a Mag. Ing. Gabriela Salem, Ing Valeria Ferrari Gallo, Ing. Silvia Balduzzi.

**Referencias**

[1]. Haroon Sheikh, Corien Prins & Erik Schrijvers: Artificial Intelligence: Definition and Background
[2] Nilsson, N. (2009). The Quest for Artificial Intelligence. Cambridge University Press.
[3] Martin Ford: Architects of intelligence
[4][5] M. Negnevitsky: The History Of Artificial Intelligence Or From The "Dark Ages" To The Knowledge-based Systems
[6][7] A Timeline of Machine Learning History. Techtarget. Neural probabilistic model
[8] Ksenia Se: The Recipe for an AI Revolution: How ImageNet, AlexNet and GPUs Changed AI Forever
[9] Rodrigo Artiga: Qué son las redes adversarias generativas: una guía completa
[10] Daisuke Wakabayashi & Jin Yu Young: 'Quizá no sea un final feliz': una leyenda del Go, derrotada por la IA, advierte sobre el futuro
[11] Carlos Martínez Rojas: Qué son los transformers en IA y por qué revolucionaron el lenguaje
[12] Introducing GPT-5
[13] Pascual Parada Torralba: Qué son los agentes de IA y los sistemas multiagente
[14][15] Adnan Veysel Ertemel, Talha Karadayı, Paraskevi Makaritou: Investigating the Socio-Economic Consequences of Artificial Intelligence: A Qualitative Research
[16][17][18] Ivchyk, V. (2024). OVERCOMING BARRIERS TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE ADOPTION. Three Seas Economic Journal, 5(4), 14-20. https://doi.org/10.30525/2661-5150/2024-4-3
[19][20] A.Z. Tishtykbayeva N.N. Gelashvili A.E. Turusbekov: Artificial Intelligence Implementation in Small Businesses
[21][22]Gina Coral Tejada Estrada, Miriam Liliana Flores Coronado, Ysabel Teofila Bedon Soria, Silvia Chacón Jiménez, Josue Eduardo Torres Cristobal, Mario Rodolfo Sánchez Camargo, Marco Antonio Velasco Taipe, Santiago Saturnino Patricio Aparicio, Jose Luis, Bazan Brice: Inteligencia artificial en la gestión de los recursos humanos
[23][24] Aimé Aminahuel Malvina Rodríguez: Gobernanza de plataformas digitales y de inteligencia artificial. Contradicciones y concentraciones del poder tecnológico
[25][30][32] Costa, C. J., Aparicio, M., Aparicio, S., & Aparicio, J. T. The Democratization of Artificial Intelligence: Theoretical Framework.
[26][31][33] Iyelolu, T. V., Agu, E. E., Idemudia, C., & Ijomah, T. I. Driving SME innovation with AI solutions: overcoming adoption barriers and future growth opportunities.
[27] Ali, H., & Hajjar, L. Empowering SMEs with AI and Digital Transformation: A Roadmap to Enhanced Competitiveness and Growth.
[28][34][35] Viswanadhapalli, V. The Future of Intelligent Automation: How Low-CodePlatforms are Transforming AI Decisioning. International Journal Of Engineering And Computer Science.
[29] Garvey, C. (2018). A Framework for Evaluating Barriers to the Democratization of Artificial Intelligence. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence.
[36][37] ¿Qué es LangChain?
[38] La supervisión humana aporta ética a la Inteligencia Artificial.
[39] Guía de la AAIP para usar la Inteligencia Artificial de manera responsable
[40] ClubINN: Conocenos
[41] Ignacio García Valcárcel: CRM. Gestión de la Relación con Los Clientes
[42][43][44] Appadoo: Revolutionize Your Workflow: A Comprehensive Review of Make (formerly Integromat) — The Game-Changing Web Service You Need to Know About
[45][46][47] Fredrick Eghosa: I stress-tested n8n for AI automation: here is my honest review
[48][49][50] Relevance AI vs Retell AI : Which one is better for your business?
[51]What is Lindy?
[52][53][54][55] Encuesta global de McKinsey sobre el estado de la IA, 1491 participantes en todos los niveles de la organización, del 16-31/07/24
[56] Falon Fatemi: 3 Ways Artificial Intelligence Is Transforming Business Operation

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Workee
# Sistema de Gestión Transparente de Procesos de Selección

**Bürky, Lucía Inés**
**Citro Comadrán, Camila**
**Costa Román, Máximo**
**Lorenzo Aguirre, Julieta**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza***

**Resumen**

*En el presente artículo se expone el desarrollo de Workee, un sistema informático concebido como trabajo final de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. Su propósito principal es hacer más transparentes los procesos de selección de personal de las empresas, mediante una solución digital que posibilite gestionarlos de una manera clara y ordenada. Al mismo tiempo, el sistema brinda a los candidatos una mayor organización y control sobre sus postulaciones, facilitando el seguimiento de cada proceso.*

*Workee busca dar respuesta a problemáticas habituales en el área de recursos humanos, tales como la descentralización de la información, el uso de diferentes herramientas para un mismo proceso y la falta de retroalimentación hacia los postulantes. Para ello, la plataforma ofrece funcionalidades específicas para cada tipo de usuario, facilitando la gestión de ofertas de empleo por parte de las empresas y la postulación por parte de los candidatos.*

*El sistema fue desarrollado con tecnologías modernas, empleando Java con Spring Boot para el backend, Angular para el frontend, MySQL como base de datos, entre otras. La gestión del proyecto combinó metodologías ágiles y tradicionales, junto con herramientas para el control de versiones. Estas tecnologías y prácticas, permitieron un desarrollo eficiente, flexible y escalable, logrando una solución sólida y fácil de mantener.*

*Este trabajo aborda los aspectos más importantes del proyecto, como su diseño, planificación y desarrollo. Además, se presentan las tecnologías y herramientas empleadas y se expone la relación de Workee con otras soluciones ya existentes en el área.*

**Abstract**

*This article presents the development of Workee, an information system conceived as the final project for the Bachelor's Degree in Information Systems Engineering. Its main purpose is to bring greater transparency to companies' recruitment processes through a digital solution that enables them to be managed in a clear and organized manner. At the same time, the system provides candidates with better organization and control over their job applications, facilitating the tracking of each process.*

*Workee aims to address common issues in the field of human resources, such as the decentralization of information, the use of multiple tools for a single process, and the lack of feedback provided to applicants. To this end, the platform offers role-specific functionalities, supporting companies in managing job offers and enabling candidates to apply to them efficiently.*

*The system was developed using modern technologies, including Java with Spring Boot for the backend, Angular for the frontend, and MySQL as the database, among others. The project management combined agile and traditional methodologies alongside version control tools. These technologies and practices enabled an efficient, flexible, and scalable development process, resulting in a robust and maintainable solution.*

*This paper discusses the most relevant aspects of the project, including its design, planning, and development. In addition, the technologies and tools used are presented, along with an analysis of how Workee relates to existing solutions in the field.*

**Palabras clave**

Reclutamiento, seguimiento de postulaciones, procesos de selección, recursos humanos, transparencia.

## Introducción

Uno de los procesos más relevantes de una organización es la selección de personal, ya que se trata de una actividad clave dentro

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de su gestión interna y presenta un impacto directo en la calidad de los equipos de trabajo. Actualmente, el área de recursos humanos presenta algunas deficiencias al momento de realizar esta tarea, tales como la descentralización de la información y las demoras significativas en los procesos de selección. De hecho, un artículo de la revista especializada en recursos humanos, *HR Dive*, revela que estos procesos tienen una duración promedio de 60 días [1].

Por otro lado, desde la perspectiva de los postulantes, estas problemáticas se traducen en incertidumbre, principalmente por la falta de una comunicación clara y oportuna sobre su estado en el mismo, así como la ausencia de retroalimentación tras las distintas instancias de evaluación. Esta situación puede reflejarse en el reporte emitido por Talentegy [2], donde se muestra que el 63% de los candidatos [Figura 1: Gráfico de satisfacción de candidatos con retroalimentación recibida] que participan en dichos procesos, no están satisfechos con la retroalimentación recibida por parte de las empresas.

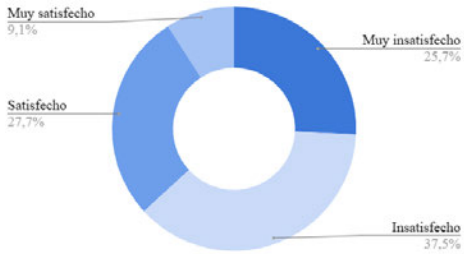



Figura 1: Gráfico de satisfacción de candidatos con retroalimentación recibida

Los problemas mencionados pueden atribuirse a la gestión actual de los procesos de selección, la cual se caracteriza por el uso de múltiples tecnologías desactualizadas o herramientas aisladas, como plataformas de videoconferencia, correo electrónico, formularios y planillas.

Frente a este escenario surge Workee, una plataforma digital pensada para abordar de forma integral y transparente los procesos de selección, ofreciendo tanto a las organizaciones como a los postulantes una herramienta que promueve la trazabilidad completa del proceso y una mejora en la comunicación entre ambas partes.

**Objetivo general**

El sistema tiene como objetivo principal centralizar todas las etapas del proceso de selección de personal, abarcando desde la publicación de ofertas hasta la selección de un candidato. Esta centralización permitirá agilizar los tiempos, reducir la carga operativa de las partes involucradas y brindar trazabilidad y visibilidad sobre cada instancia del proceso, promoviendo así la transparencia, la equidad y una mejor experiencia para empresas y postulantes.

**Metodología de desarrollo utilizada**

Durante el desarrollo del presente proyecto se adoptó una estrategia híbrida que combina metodologías ágiles y tradicionales, beneficiándose de las ventajas de cada uno de estos enfoques según la etapa del ciclo de vida del sistema.

En las fases iniciales del proyecto, se optó por un enfoque tradicional, avanzando secuencialmente desde la identificación de los requerimientos hasta el diseño general del sistema.

En cambio, en etapas posteriores como la de “Desarrollo e Implementación”, se prefirió una metodología ágil e iterativa, dividiendo el sistema en módulos funcionales independientes. Esta decisión facilitó la organización del equipo de trabajo y la implementación gradual de funcionalidades, al poder validar los resultados obtenidos de forma continua.

**Módulos que componen al sistema**

**Módulo de seguridad**

Se encarga de la gestión integral de usuarios, roles y permisos del sistema, abarcando funciones como autenticación,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



autorización y administración de las cuentas.

**Módulo de candidato**

Se basa en la actualización del perfil personal del candidato, permitiendo a este administrar su currículum vitae, seleccionar sus habilidades [Figura 2: Selección de habilidades del candidato] y su estado de búsqueda laboral.




Figura 2: Selección de habilidades del candidato

**Módulo de empresa**

Este módulo permite a las empresas administrar completamente sus perfiles y equipo interno. Incluye funcionalidades para mantener actualizada la información de la compañía y gestionar a sus empleados, desde el alta hasta la visualización de sus datos [Figura 3: Listado de empleados].

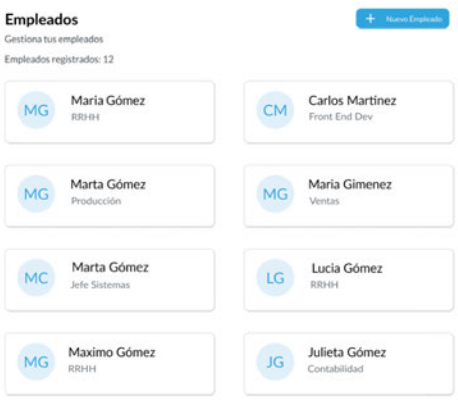



Figura 3: Listado de empleados

**Módulo de búsqueda**

Los distintos usuarios del sistema podrán localizar rápidamente información relevante sobre empresas, ofertas [Figura 4: Búsqueda de ofertas] y candidatos mediante búsquedas y filtros. Además, se ofrece la posibilidad de visualizar el detalle de cada entidad seleccionada, facilitando su análisis y la toma de decisiones.

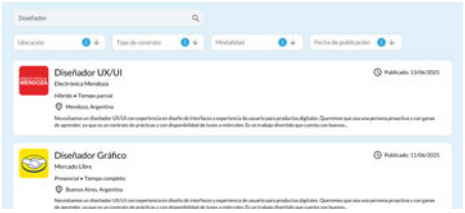



Figura 4: Búsqueda de ofertas

**Módulo de backup y recuperación**

Facilita al Administrador del Sistema la creación de copias de seguridad de la información crítica. Además, brinda la posibilidad de restaurar el sistema a algún estado anterior [Figura 5: Restauración de backup], minimizando de esta manera la pérdida de datos y asegurando la continuidad e integridad del sistema.

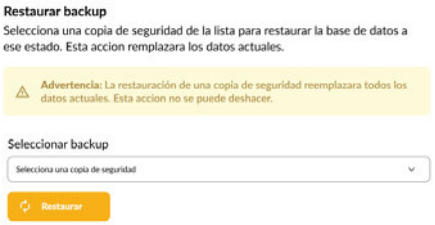



Figura 5: Restauración de backup

**Módulo de gestión de ofertas**

Permite a las empresas crear, modificar y administrar sus ofertas laborales, así como sus etapas específicas del proceso de selección [Figura 6: Configuración de una etapa en una oferta]. Además, brinda un control completo sobre el ciclo de vida de las ofertas publicadas, permitiendo visualizar el listado de las mismas y modificar sus estados a lo largo del tiempo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 6: Configuración de una etapa en una oferta

**Módulo de postulaciones**

Se basa en la gestión de las interacciones entre candidatos y empresas dentro de las postulaciones a ofertas. Permite a los candidatos postularse y dar seguimiento a las mismas [Figura 7: Seguimiento de postulación de candidato], mientras que las empresas pueden consultar el detalle de las postulaciones de los candidatos para monitorear y actualizar el estado de cada una.

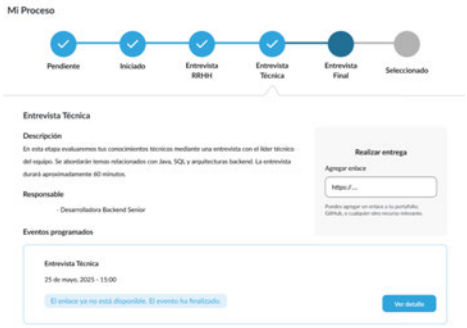



Figura 7: Seguimiento de postulación de candidato

**Módulo de videollamadas**

Provee las herramientas para la comunicación en tiempo real entre candidatos y empresas mediante videollamadas dentro del sistema [Figura 8: Videollamada]. Incluye funcionalidades para facilitar entrevistas y reuniones virtuales entre los distintos usuarios.

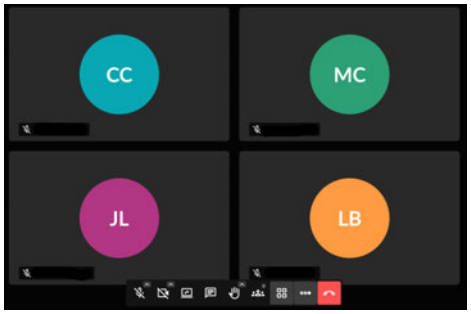



Figura 8: Videollamada

**Módulo de calendario y notificaciones**

Incluye el registro de eventos desde diversos lugares y el envío de notificaciones automáticas. Además, brinda la posibilidad a los distintos usuarios de visualizar un calendario integrado.

**Módulo de análisis y métricas**

Visualización de datos y estadísticas relevantes para cada tipo de usuario [Figura 9: Estadísticas del candidato]. Proporciona paneles y reportes personalizados con métricas clave según los distintos tipos de usuarios.




Figura 9: Estadísticas del candidato

**Módulo de parámetros**

Permite la configuración y mantenimiento de todos los datos relacionados con los parámetros del sistema. Contiene las funcionalidades de ABM (Alta, Baja y Modificación) para diversos parámetros como países [Figura 10: Listado de países], provincias, habilidades, entre otros,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



asegurando la estandarización de la información.

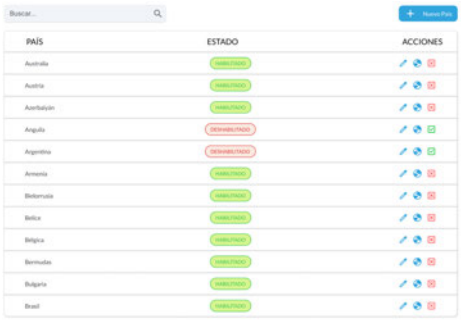



Figura 10: Listado de países

**Funcionalidades principales**

En el presente apartado, se especifican las funcionalidades principales del sistema, junto con un diagrama de clases [Figura 11: Diagrama de clases reducido] y modelo de casos de uso [Figura 12: Modelo de casos de uso reducido] reducidos.

Workee cuenta con cuatro roles principales que estructuran la operatividad de la plataforma. A continuación, se detallan las funcionalidades más relevantes asociadas a cada uno de estos roles.

Un Candidato puede:

- Gestionar su Currículum Vitae.
- Postularse a ofertas de empleo.
- Realizar un seguimiento de sus postulaciones a ofertas de empleo.
- Ingresar a videollamadas.
- Visualizar un calendario con los eventos en los cuales está involucrado.

Un Administrador de una Empresa puede:

- Crear y gestionar ofertas de empleo.
- Crear y gestionar empleados.
- Agendar e ingresar a videollamadas.
- Enviar ofertas de empleo a candidatos.
- Actualizar postulaciones de candidatos a ofertas de empleo.
- Visualizar un calendario con los eventos en los cuales está involucrado.

Un Empleado de una Empresa puede:

- Crear y gestionar ofertas de empleo.
- Agendar e ingresar a videollamadas.
- Enviar ofertas a candidatos.
- Actualizar postulaciones de candidatos a ofertas de empleo.
- Participar en distintas etapas de ofertas de empleo.
- Visualizar un calendario con los eventos en los cuales está involucrado.

Un Administrador del Sistema puede:

- Crear, modificar, habilitar o deshabilitar los parámetros del sistema.
- Visualizar información de los usuarios registrados.
- Gestionar los roles de los usuarios.
- Gestionar los permisos de los roles.
- Habilitar cuentas con rol Administrador de Empresa.
- Realizar copias de seguridad y restauraciones al sistema.

Además, en general, cualquier usuario puede:

- Registrarse e iniciar y cerrar sesión en la plataforma.
- Modificar sus datos personales.
- Recuperar su contraseña.
- Dar de baja su cuenta.
- Visualizar un panel con estadísticas de su interés.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Diagrama de clases reducido**

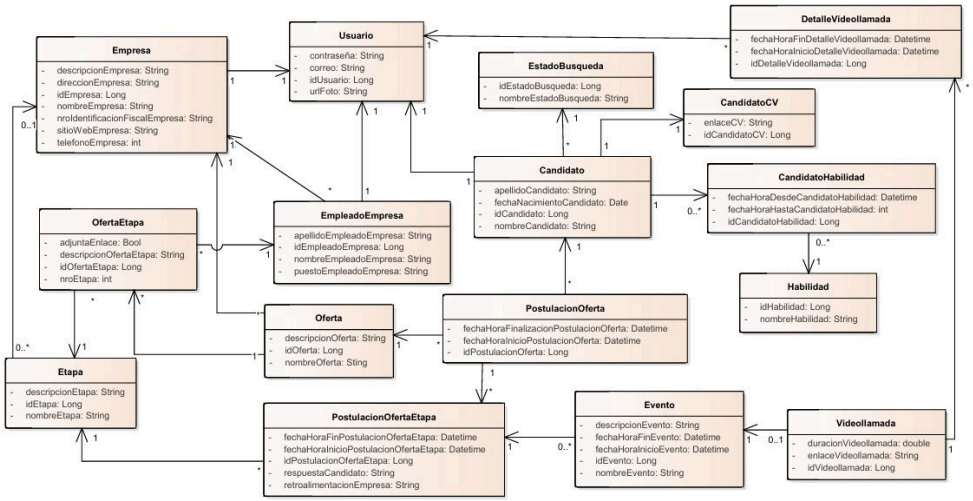



Figura 11: Diagrama de clases reducido

**Modelo de casos de uso reducido**

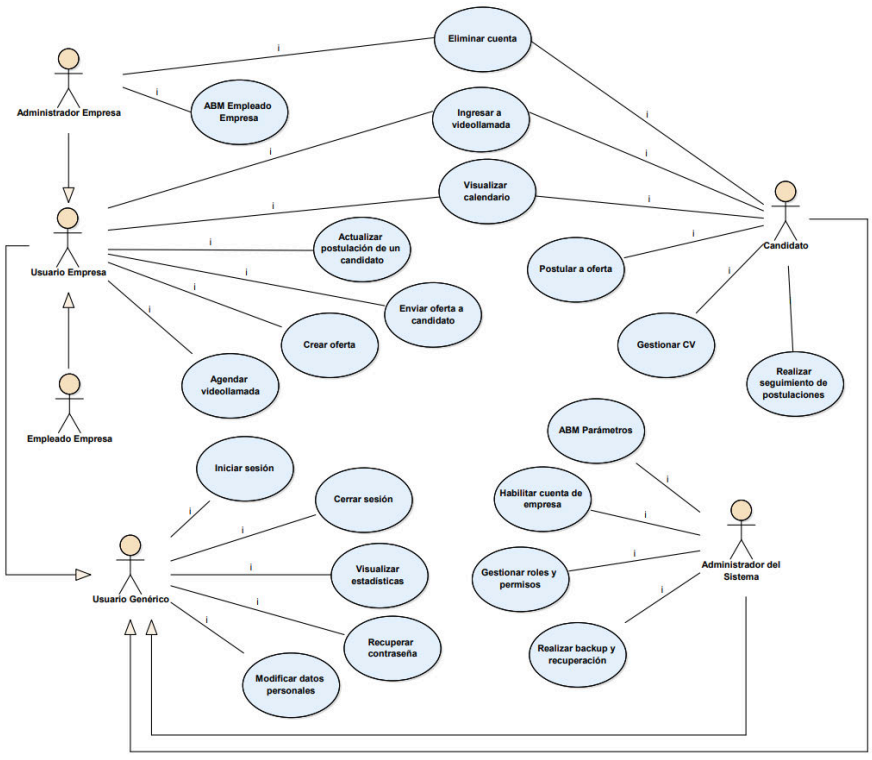



Figura 12: Modelo de casos de uso reducido

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tecnologías utilizadas**

Para el desarrollo del proyecto, se optó por el uso de diversas tecnologías y herramientas, enumeradas a continuación:

- Java [3], como lenguaje principal para el desarrollo del backend.
- Spring Boot [4], como framework de Java para simplificar y acelerar la creación de un servidor.
- Swagger [5], como herramienta para la documentación y visualización interactiva de la API backend.
- Spring Security [6], como servicio de autenticación de usuarios.
- TypeScript [7], como lenguaje principal para el desarrollo del frontend.
- Angular [8], como framework para el desarrollo del frontend.
- HTML [9], para la estructuración del contenido y creación de la arquitectura de la interfaz de usuario.
- CSS [10], para la definición del estilo visual, presentación y diseño de los elementos frontend.
- MySQL [11], como motor de la base de datos relacional.
- Firebase Storage [12], como almacenamiento de archivos multimedia en la nube, incorporado en la plataforma Firebase.
- Visual Studio Code [13], como editor de código fuente.
- Figma [14], como plataforma para el diseño de interfaces.
- Enterprise Architect [15], como herramienta para el modelado del sistema.
- Jira [16], como herramienta para la gestión del proyecto.
- ProjectLibre [17], como herramienta para la planificación del proyecto.
- Google Drive [18], como herramienta de colaboración para el almacenamiento y la gestión de la documentación del proyecto.
- GitHub [19], como plataforma de almacenamiento del código en repositorios en la nube.
- Git [20], como sistema de control de versiones distribuidas.
- Discord [21], como canal de comunicación de voz.
- Jitsi Meet [22], como plataforma de videollamada de código abierto.
- AWS [23], como plataforma de servicios en la nube para el despliegue y alojamiento del servidor de Jitsi Meet.
- Railway [24], como plataforma de infraestructura como servicio, para el despliegue del backend y base de datos.

Con el objetivo de representar gráficamente la relación entre las tecnologías mencionadas anteriormente, se elaboró un diagrama de arquitectura del sistema [Figura 13: Diagrama de arquitectura del sistema]. Los usuarios de Workee acceden a una aplicación web desarrollada con el framework Angular, que se comunica con el servidor backend implementado con Spring Boot y desplegado en Railway, el cual interactúa con la base de datos MySQL. Para el almacenamiento de archivos multimedia como las fotos de perfil o logos de los usuarios se utiliza la herramienta Firebase Storage, mientras que las funcionalidades relacionadas a videollamadas se soportan mediante un servidor Jitsi Meet alojado en AWS.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



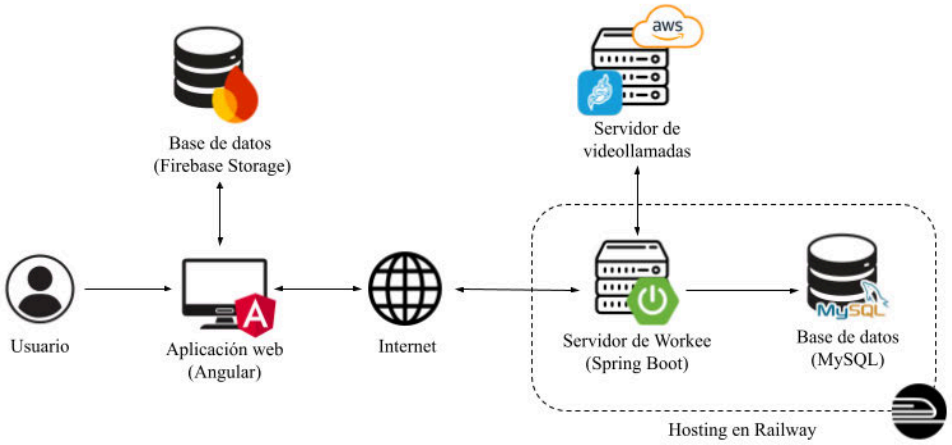



Figura 13: Diagrama de arquitectura del sistema

**Trabajos Relacionados**

Luego de definida la problemática, se llevó a cabo un relevamiento de sistemas informáticos enfocados en dicho desafío. Para ello, se analizaron aplicaciones como LinkedIn [25], InfoJobs [26], Cia de Talentos [27] y GreenHouse [28], con el fin de comprender las soluciones existentes para la mejora del proceso de selección. Además, se realizó una entrevista con personal de Recursos Humanos, quien brindó su opinión con respecto a las prácticas de reclutamiento actuales. Las problemáticas encontradas fueron las siguientes:

- La información con la que interactúa el usuario es poco configurable.
- Las interfaces visuales están muy sobrecargadas.
- Se utilizan múltiples términos para los mismos conceptos.
- Las herramientas funcionan incorrectamente.
- Poca facilidad en el momento de registrar un usuario.
- Falta de orden y seguimiento del proceso.

Por otro lado, las necesidades detectadas son las siguientes:

- Mayor integración de herramientas y dependencia de múltiples plataformas diversas.
- Incorporación de alertas y notificaciones dentro del sistema.
- Mayor información de retroalimentación.
- Opción para realizar videollamadas.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Workee aporta una solución a la falta de transparencia y trazabilidad en los procesos de selección de personal. El sistema atiende las necesidades de ambas partes: por un lado, brinda a las empresas herramientas para gestionar ofertas, centralizar la comunicación y administrar el equipo interno; por otro, ofrece a los candidatos un control claro sobre sus postulaciones, seguimiento detallado de cada etapa y un canal de retroalimentación directo, respondiendo a problemáticas claves del sector. Su diseño modular, junto con el uso de tecnologías modernas como Spring Boot, Angular, MySQL y Firebase, ha permitido implementar un sistema escalable y con una interfaz amigable para todos los roles involucrados. Esta propuesta busca mejorar la experiencia de los usuarios al brindar un espacio unificado que facilite el seguimiento y la participación activa en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cada etapa del proceso, tanto desde el rol de la empresa como el del postulante.

Se realizaron pruebas de carga que demostraron la estabilidad del sistema. Una de estas pruebas consistió en iniciar la sesión de 40 usuarios en simultáneo, en la cual se obtuvo un tiempo de respuesta promedio de 184 milisegundos, considerándose una prueba exitosa.

Entre las principales limitaciones actuales se encuentra la necesidad de adaptar algunas funcionalidades a distintos tipos de organizaciones y la incorporación de mecanismos más avanzados que permitan automatizar ciertas tareas dentro del sistema. Además, aunque se priorizó la experiencia del usuario, aún queda pendiente profundizar en aspectos vinculados a la accesibilidad y la inclusión digital.

Durante el desarrollo del sistema:

- Se centralizó la información de los procesos de selección en un único entorno, evitando la dispersión en múltiples plataformas.
- Se desarrolló un sistema web responsive.
- Se logró una arquitectura modular que facilita el seguimiento.

Teniendo en cuenta las funcionalidades implementadas y los aspectos aún pendientes, se plantean mejoras orientadas a la evolución del sistema, tales como la incorporación de algoritmos de recomendación que optimicen el emparejamiento entre candidatos y ofertas. Por el lado de la empresa, a modo de agilizar su toma de decisiones, se podría considerar la expansión de herramientas de análisis y visualización de datos, el desarrollo de mecanismos de *pre escaneo* del CV por parte de las empresas y la incorporación de un sistema de automatización de referencias, que permita gestionar y verificar el desempeño de cada candidato en experiencias laborales anteriores. Estas mejoras permitirán ampliar el alcance del sistema y consolidarlo como una herramienta integral para la gestión transparente y eficiente de procesos de selección.

**Referencias**

[1] HR Dive. (2023). Time-to-hire rates are increasing significantly for almost all roles. Recuperado el 12 de agosto de 2025. https://www.hrdive.com/news/time-to-hire-rates-increasing-significantly-for-almost-all-roles/652449/

[2] Talentegy. (2019). “Candidate Experience Report: Perceptions & Behaviors”. Recuperado el 12 de agosto de 2025. https://www.talentegy.com/hubfs/2019%20CX%20Report/Talentegy-2019%20Candidate%20Experience%20Report.pdf

[3] Java - lenguaje de programación y plataforma de desarrollo. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.java.com/es/

[4] Spring Boot - marco Java de código abierto que se utiliza para programar aplicaciones independientes basadas en Spring. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://spring.io/projects/spring-boot

[5] Swagger - herramientas de software de código abierto para diseñar, construir, documentar, y utilizar servicios web RESTful. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://swagger.io/

[6] Spring Security - marco de autenticación y control de acceso personalizable para aplicaciones Java. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://spring.io/projects/spring-security

[7] TypeScript - lenguaje de programación libre y de código abierto. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.typescriptlang.org

[8] Angular - framework para aplicaciones web desarrollado en TypeScript. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://angular.dev/

[9] HTML - lenguaje de marcado utilizado en la creación de páginas web. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://lenguajehtml.com/

[10] CSS - lenguaje informático especializado en definir y cohesionar la presentación de un documento escrito. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://lenguajecss.com/css/introduccion/que-es-css/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[11] MySQL - sistema de gestión de bases de datos relacional. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.mysql.com/

[12] FireBase Storage - infraestructura rápida y segura de Google Cloud para desarrolladores de apps que necesitan almacenar y entregar contenido generado por usuarios. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://firebase.google.com/docs/storage

[13] Visual Studio Code - editor de código fuente. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://code.visualstudio.com/

[14] Figma - editor de gráficos vectorial y una herramienta de generación de prototipos. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.figma.com/

[15] Enterprise Architect - plataforma de modelado visual. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://sparxsystems.com/

[16] Jira - software para gestión de proyectos. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.atlassian.com/es/software/jira

[17] Project Libre - software de administración de proyectos de código abierto. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.projectlibre.com/

[18] Google Drive - sistema de gestión de archivos. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://drive.google.com/drive

[19] GitHub - forja para alojar proyectos utilizando el sistema de control de versiones Git. Recuperado el 31 de julio de 2025. https://github.com

[20] Git - software de control de versiones. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://git-scm.com/

[21] Discord - servicio de mensajería instantánea y chat de voz. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://discord.com/

[22] Jitsi meet - Plataforma de videollamada de codigo abierto. Recuperado el 12 de Agosto de 2025. https://jitsi.org/

[23] AWS - Servicios de informática en la nube. Recuperado el 12 de agosto de 2025. https://aws.amazon.com/es/

[24] Railway - Plataforma de infraestructura. Recuperado el 12 de agosto de 2025. https://railway.com/

[25] LinkedIn - red social orientada al uso empresarial, a los negocios y al empleo. Recuperado el 31 de julio de 2025. https://ar.linkedin.com/

[26] InfoJobs - bolsa de empleo privada en línea. Recuperado el 31 de Julio de 2025. http://www.infojobs.net/

[27] Cia de Talentos - Consultora de Recursos Humanos que acompaña y asesora a empresas y profesionales en la gestión de sus talentos. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.ciadetalentos.com.br/es/

[28] GreenHouse - Software ATS de reclutamiento. Recuperado el 31 de Julio de 2025. https://www.greenhouse.com/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Optimización de Márgenes y Promociones en Retail Mayorista Mediante Aprendizaje Analítico y Pricing Predictivo

**Trejo, Milagros Rocío; Morales Vranic, Santiago Nicolás; Farias, Nahuel Fabian; Cabaleiro, Ulises; Akiyoshi, Joel Pablo**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*En el sector mayorista argentino, la definición de precios y la gestión de promociones constituyen desafíos críticos, especialmente en rubros de alta rotación y con productos de vida útil limitada, como el de la distribución de alimentos. La ausencia de herramientas adaptadas al contexto local provoca que estas decisiones se basen mayormente en la experiencia de los comerciantes, lo que incrementa el riesgo de pérdidas por sobrestock, complica la introducción de nuevos productos y limita la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda. Este trabajo presenta PriceFlow, una plataforma en desarrollo orientada a la gestión inteligente de precios y promociones en negocios mayoristas. La propuesta combina análisis de datos históricos de ventas, variables externas como la estacionalidad y eventos competitivos y modelos predictivos para sugerir precios dinámicos y promociones personalizadas por cliente, con el objetivo de optimizar la rentabilidad y fortalecer las relaciones comerciales. Se espera que su implementación facilite decisiones más ágiles y fundamentadas, reduzca pérdidas por stock estancado y contribuya a una planificación estratégica más eficiente en entornos altamente competitivos.*

**Palabras Clave**

Precios, Pricing dinámico, Promociones, Mayorista, Argentina, Modelo Predictivo, Machine Learning

## Introducción

La fijación de precios y la gestión de promociones constituyen aspectos centrales para la competitividad de los negocios mayoristas, especialmente en sectores de alta rotación y productos con vencimiento limitado, como la distribución de alimentos. En este contexto, los mayoristas deben enfrentar decisiones críticas que van desde liquidar stock próximo a vencer hasta incentivar la venta de productos nuevos o de baja rotación. Sin embargo, en el mercado argentino estas decisiones suelen apoyarse principalmente en la experiencia del comerciante, sin herramientas que integren análisis de datos o modelos predictivos adaptados a la dinámica local.

A diferencia de otros mercados, Argentina presenta particularidades que complejizan la toma de decisiones comerciales: alta inflación, variaciones abruptas en los costos, inestabilidad en la demanda y comportamientos de compra heterogéneos. Estas condiciones generan un escenario donde las decisiones de pricing basadas únicamente en la intuición resultan especialmente riesgosas. Por ello, disponer de una herramienta que aporte recomendaciones dinámicas y sustentadas en datos ofrece ventajas diferenciales, como la posibilidad de reaccionar con mayor agilidad ante cambios económicos, minimizar pérdidas por sobrestock y sostener la rentabilidad en un entorno volátil.

A nivel internacional, el pricing dinámico y el uso de modelos predictivos han demostrado mejorar la eficiencia comercial y la rentabilidad en industrias como el e-commerce o el retail. Por ejemplo, un framework de Deep Reinforcement Learning aplicado en Alibaba-Tmall logró superar significativamente al pricing manual [1]. De manera similar, el uso de Q-Learning en entornos de retail demostró ser más efectivo que los métodos estáticos tradicionales, incrementando la eficiencia del revenue management [2].

En este trabajo se presenta PriceFlow, una plataforma en desarrollo que busca responder a esta necesidad de adaptabilidad mediante un sistema de pricing predictivo y gestión de promociones diseñado para mayoristas en Argentina.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El objetivo general es desarrollar y validar un modelo de pricing predictivo basado en aprendizaje analítico para optimizar los márgenes de beneficio y la eficacia de las promociones en un entorno de retail mayorista.

Algunos de los objetivos específicos del proyecto son: Recopilar y pre-procesar datos históricos de ventas, inventario, costos, precios, promociones y variables externas (estacionalidad o días festivos); construir modelos predictivos de la demanda para diferentes categorías de productos; y validar la efectividad del modelo a través de simulaciones y pruebas A/B en un subconjunto de productos.

La propuesta combina análisis de datos y modelos de predicción para ofrecer sugerencias automáticas de precios y promociones personalizadas no solo por producto, sino también por cliente, considerando su historial de compras, frecuencia y nivel de relación comercial. De esta manera, la herramienta no solo apunta a optimizar la rentabilidad, sino también a fortalecer los vínculos con los distintos segmentos de clientes, generando ofertas más relevantes y eficaces para cada uno.

El presente documento se organiza de la siguiente manera: en la primera sección se expone el marco teórico y el estado del arte en pricing dinámico y gestión de promociones; la segunda sección describe la metodología adoptada; la tercera sección detalla el diseño de PriceFlow; la cuarta y última sección presenta las conclusiones y futuras líneas de investigación.

## 1. Marco Teórico

El pricing dinámico es una estrategia de fijación de precios en la que las empresas ajustan los precios de sus productos o servicios en función de la demanda del mercado, la competencia y otros factores externos, con el objetivo de maximizar los ingresos y la eficiencia operativa [3]. Este enfoque se ha consolidado en industrias como aerolíneas, hotelería, retail y e-commerce, donde permite maximizar ingresos y optimizar la utilización del stock. Estudios recientes muestran que técnicas avanzadas, como reinforcement learning [1] y Q-Learning [2], pueden superar métodos tradicionales estáticos, incrementando la eficiencia de la gestión de ingresos y rentabilidad.

La gestión de promociones se refiere al diseño y ejecución de incentivos comerciales para estimular la compra, introducir productos nuevos o liquidar inventarios. La personalización de las promociones según el perfil del cliente es un factor crítico, ya que diferentes tipos de clientes presentan distintos patrones de consumo, frecuencia de compra y sensibilidad al precio.

La solución detallada en este documento, utiliza como parte fundamental de su diseño, interfaces de programación de aplicaciones (APIs) y Machine Learning.

Una API es un componente de software que provee una interfaz que especifica cómo otros componentes deben interactuar con ella [4]. Típicamente esto permite desarrollar software modular y reutilizable, ya que lo que se conoce de las APIs son sus contratos y no su implementación interna.

Machine Learning es una rama en desarrollo de la computación algorítmica que busca emular el aprendizaje humano, y que permite a los sistemas aprender de datos del entorno [5].

La analítica predictiva consiste en aplicar modelos estadísticos y de Machine Learning para anticipar comportamientos futuros, como demanda por producto o respuesta a promociones, facilitando la toma de decisiones automatizada, permitiendo optimizar márgenes y adaptar estrategias a los distintos clientes.

En el contexto argentino, la adopción de estas estrategias requiere considerar particularidades locales como alta inflación, fluctuaciones abruptas en costos y comportamientos de compra heterogéneos. Estas condiciones hacen que la implementación de una plataforma como PriceFlow, que sugiera precios y promociones personalizadas por cliente, sea especialmente valiosa para optimizar la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



rentabilidad y fortalecer relaciones comerciales en un mercado mayorista volátil.

**2. Metodología**

La metodología adoptada para el desarrollo del proyecto se fundamentó en un enfoque iterativo, combinando principios de Design Thinking [6] y prácticas ágiles de Scrum [7]. El enfoque ágil se centra en desarrollar funcionalidades en ciclos cortos, de forma iterativa e incremental para obtener retroalimentación temprana de los usuarios clave (Figura 1). Es especialmente útil cuando hay desconocimiento considerable del contexto o cuando el desarrollo es innovador.

En una primera etapa, se aplicaron técnicas de relevamiento cualitativo mediante entrevistas y observación participante con representantes de pequeñas y medianas empresas del sector retail. Este proceso permitió definir las necesidades prioritarias relacionadas con la gestión de precios y promociones en entornos inflacionarios, y se elaboró un backlog inicial de funcionalidades además de un modelo de datos preliminar.

En segundo lugar, se diagramó la solución, identificando qué componentes de software serían necesarios para resolver los problemas detectados en las entrevistas previas. Se diseñó la arquitectura modular del sistema, segmentada en capas de ingesta de datos, procesamiento analítico y visualización de resultados, garantizando la posibilidad de evolución futura hacia soluciones más complejas. En esta etapa también se definieron los datos necesarios para entrenar los modelos de pricing dinámico y recomendación de promociones, y se determinó el alcance a alto nivel del proyecto.

Posteriormente, se avanzó hacia la construcción de un módulo de ingesta de datos, que permite a los usuarios la carga de data histórica de ventas, productos y promociones, para poder empezar a entrenar el modelo. La construcción siguió un esquema incremental en sprints cortos, priorizando entregables funcionales al final de cada iteración.

En base a esos datos, será desarrollado un motor de pricing dinámico y un sistema básico de gestión de promociones, priorizando la retroalimentación temprana para ajustar los algoritmos predictivos y las funcionalidades de acuerdo con las expectativas del negocio. Para los motores de recomendaciones, se irán generando modelos de datos preliminares y prototipos de interfaz de baja y media fidelidad, validados de manera iterativa con usuarios finales.

Finalmente, se llevarán a cabo pruebas integrales orientadas a garantizar la calidad de los datos y la robustez de los módulos desarrollados, asegurando que el producto alcance el estado de Mínimo Producto Viable (MVP). Este marco metodológico mixto, asegura la posibilidad de extender el prototipo hacia versiones futuras más complejas sin perder alineación con las necesidades de los usuarios finales.




Figura 1

**3. Diseño**

El diseño de PriceFlow se organiza en cuatro capas principales: cliente, integración, aplicación y datos.

La capa de cliente corresponde a la interfaz de usuario mediante la cual los clientes interactúan con la aplicación. Para ello se desarrolló un frontend web de tipo Single

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Page Application (SPA) implementado en TypeScript con React, el cual utiliza OAuth2 para la gestión segura de sesiones y autenticación.
La capa de integración actúa como punto de conexión entre las distintas partes del sistema, ya que gestiona el enrutamiento de solicitudes, define los Data Transfer Objects (DTOs) y expone conectores basados en REST, lo que permite garantizar la interoperabilidad con servicios externos y la comunicación con la capa de aplicación.
En la capa de aplicación se encuentra el backend, conformado por dos módulos centrales: el módulo de ingesta, encargado de recibir y validar los datos provenientes de los usuarios y de fuentes externas, y el módulo de análisis, que procesa dicha información mediante algoritmos de pricing dinámico para generar recomendaciones personalizadas. Ambos módulos fueron desarrollados como API en C# con .NET y exponen sus funcionalidades a través de endpoints REST. Esta capa también administra los roles y permisos de los distintos perfiles de usuario, garantizando el control de accesos.
El algoritmo predictivo a utilizar se está desarrollando en Python, utilizando el dataset consumido por el módulo de ingesta para entrenar el modelo.
Finalmente, la capa de datos se implementó con una base de datos relacional PostgreSQL, en la que se almacenan tanto los datos cargados por los usuarios como las recomendaciones generadas por el sistema. Complementariamente, se integró una base Redis utilizada como caché en memoria, con el objetivo de reducir los tiempos de respuesta en las consultas más frecuentes relacionadas con las recomendaciones.
La estructura anteriormente detallada puede verse en el diagrama general de arquitectura de la solución (Figura 2).
Toda la infraestructura se despliega en Microsoft Azure, aprovechando sus servicios de nube para asegurar escalabilidad, disponibilidad y seguridad. Los distintos componentes se orquestan dentro de este entorno, lo que permite una gestión eficiente de recursos y la posibilidad de escalar horizontal o verticalmente según la demanda.

**Trabajos Relacionados**
El uso de pricing dinámico ha sido sobre todo estudiado en sectores como transporte, energía, aviación y e-commerce, donde la abundancia de datos y la capacidad de ajuste en tiempo real favorecen su implementación [8]. Sin embargo, vemos ejemplos de aplicación del pricing y promociones dinámicas en contextos de

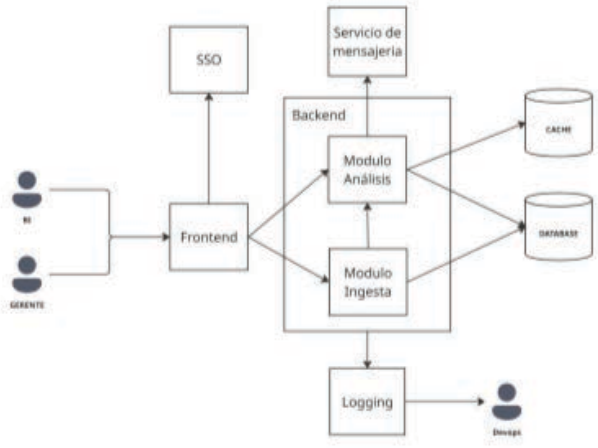



Figura 2

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



retail y comercios más tradicionales. Por ejemplo, se llevó a cabo un experimento de campo en supermercados chilenos, analizando el impacto dinámico de promociones profundas frente a superficiales, detectando una mejora significativa en la probabilidad de compra y evitando acumulación excesiva de stock, aunque al costo de a veces reducir márgenes de ganancia [9]. Estos enfoques se vinculan directamente con nuestro proyecto, que busca atender la volatilidad inflacionaria y adaptarse a las características del canal mayorista.

Como se ha mencionado, parte fundamental de un buen sistema de pricing dinámico es contar con los datos necesarios. La selección de la base de datos con la que se va a trabajar es el primer paso para construir un modelo predictivo [8]. El principal desafío entonces, es lograr entrenar un modelo con los datos históricos que puede proporcionar un mayorista local, un volumen mucho menor al que manejan por ejemplo los sectores de transporte o aviación.

Un caso relevante en América Latina es el de Magazine Luiza en Brasil [10], que desarrolló un sistema de pricing dinámico basado en algoritmos de machine learning que integran no solo información histórica de ventas y promociones, sino también indicadores macroeconómicos, fluctuaciones cambiarias y costos de proveedores. Esta estrategia permitió ajustar precios de manera continua frente a escenarios de inflación y alta volatilidad.

También en este contexto se encuentra el caso de Mercado Libre, que para alcanzar al público de varios países de América Latina, ha desarrollado un sistema de recomendación de precios que toma en cuenta la volatilidad de la moneda local, leyes impositivas de la región donde se apliquen o variables que reflejan distintos niveles de competitividad del mercado [10]. Además, la plataforma ofrece herramientas de automatización que permiten configurar reglas automáticas que ajustan dinámicamente los precios según condiciones definidas por el vendedor (como rangos mínimos y máximos, variaciones de la competencia y niveles de margen deseado) sin necesidad de intervención manual. De esta manera, a través de una API llamada Pricing Suggestion [11], se analizan las publicaciones del mismo producto o similares para generar recomendaciones de precios más competitivos sin descuidar el margen de ganancia.

El presente proyecto busca adaptar principios similares al contexto de los mayoristas de alimentos argentinos, priorizando soluciones simplificadas y accesibles que permitan automatizar la gestión de precios y promociones sin necesidad de infraestructura compleja.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El trabajo presentado constituye un primer esfuerzo por trasladar al ámbito del retail mayorista argentino técnicas de pricing dinámico y gestión inteligente de promociones, tradicionalmente aplicadas por grandes retailers con infraestructura tecnológica avanzada, o áreas donde el volumen de datos que se maneja es mucho mayor. Se busca demostrar la factibilidad de integrar datos históricos de ventas con modelos predictivos simples para ofrecer precios sugeridos y configuraciones promocionales básicas. Sin embargo, el alcance es limitado por la disponibilidad de datasets representativos y por la necesidad de simplificar tanto los algoritmos como la arquitectura de despliegue, lo cual restringe la capacidad de generalizar los resultados a gran escala. Se apunta a un modelo sencillo que facilite las tareas del sector mayorista, y que empiece a integrar la tecnología de modelos predictivos en sectores más variados en un contexto económico tan cambiante como el argentino.

En comparación con los trabajos previos en el área, que han aplicado modelos complejos o aprendizaje por refuerzo en escenarios simulados (por ejemplo modelos para Mercado Libre o Magazine Luiza [9]), la propuesta aquí expuesta se diferencia por

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



enfocarse en la viabilidad práctica para mayoristas con recursos tecnológicos limitados. El aporte principal reside en haber identificado un espacio no cubierto por el mercado: soluciones accesibles y adaptables al comercio mayorista de menor escala en América Latina. Este vacío no había sido atendido por los sistemas existentes, centrados mayormente en grandes cadenas o e-commerce masivos.

Como líneas futuras, se proyecta superar las limitaciones actuales mediante la ampliación de la base de datos con información proveniente de integraciones reales con sistemas de gestión comercial (sistemas de planificación de recursos empresariales o ERP), lo que permitiría mejorar la precisión de los modelos predictivos. Asimismo, se plantea la incorporación progresiva de técnicas más avanzadas de Machine Learning, como algoritmos de aprendizaje por refuerzo y modelos de series temporales multivariadas, que posibiliten simular escenarios inflacionarios y ajustar recomendaciones en tiempo real. Finalmente, se considera relevante explorar la dimensión de equidad (fairness) y segmentación de clientes, garantizando que las estrategias de pricing no solo optimicen márgenes, sino que también promuevan decisiones transparentes y sostenibles en el tiempo. Estas líneas adicionales permitirán evolucionar el prototipo hacia una solución más robusta, escalable y comparable con los sistemas de pricing dinámico ya desplegados en otros mercados internacionales.

En definitiva, este trabajo contribuye a la utilización de algoritmos de aprendizaje automático y análisis de datos en contextos de mercado variados y apuntados a los pequeños y medianos comercios de la región, haciendo que cada vez sea una herramienta más accesible para todos.

**Referencias**

[1] Jiaxi Liu, Yidong Zhang, Xiaoqing Wang, Yuming Deng, Xingyu Wu, “Dynamic Pricing on E-commerce Platform with Deep Reinforcement Learning: A Field Experiment”, Diciembre 2019 [En Línea].Disponible: shorturl.at/LUBR4 [Último acceso: 16 08 2025]

[2] Mohit Apte, Ketan Kale, Pranav Datar, Pratiksha Deshmukh, “Dynamic Retail Pricing via Q-Learning -- A Reinforcement Learning Framework for Enhanced Revenue Managementt”, Noviembre 2024 [En Línea].Disponible: shorturl.at/Xfuw2 [Último acceso: 16 08 2025]

[3] Praveen Kopalle, Koen Pauwels, Laxminarayana Yashaswy Akella, Manish Gangwar, “Dynamic pricing: Definition, implications for managers, and future research directions”, Diciembre 2023 [En linea].Disponible: shorturl.at/HFwV4 [Último acceso: 16 08 2025]

[4] M. Reddy, “API Design for C++”, Elsevier, 2011. [En Línea]. Disponible: https://shorturl.at/gvRG2 [Último acceso: 20 08 2025]

[5] El Naqa y M. J. Murphy, “What Is Machine Learning?,” en Machine Learning in Radiation Oncology, pp. 3–11, Springer International Publishing, 2015. [En Línea]. Disponible: https://shorturl.at/pA4Xp . [Último acceso: 21 08 2025]

[6] N. Rösch, V. Tiberius y S. Kraus, “Design thinking for innovation: context factors, process, and outcomes,” European Journal of Innovation Management, vol. 26, no. 7, pp. 160–176, Marzo 2023, [En Línea]. Disponible: https://shorturl.at/zcpCT [Último acceso: 18 08 2025]

[7] K. Schwaber y J. Sutherland, “La Guía de Scrum: La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego”, Repositorio Universidad del Valle del Momboy, Noviembre 2020. [En Línea]. Disponible: https://shorturl.at/lMJQE [Último acceso: 18 08 2025]

[8] R. Y. Chenavaz y S. Dimitrov, “Artificial intelligence and dynamic pricing: a systematic literature review,” Journal of Applied Economics [En Línea], vol. 28, no. 1, art. no. 2466140, Febrero 2025. Disponible: https://shorturl.at/7zcGl. [Último acceso: 19 08 2025].

[9] A. Elberg, P. M. Gardete, R. Macera y C. Noton, “Dynamic effects of price promotions: field evidence, consumer search, and supply-side implications,” Universidad de Los Andes [En Línea], Marzo 2019. Disponible en: https://shorturl.at/MUev5 [Último acceso: 19 08 2025]

[10] A. Ripla, “AI for demand-sensing and pricing optimization: transforming supply chain strategies,” LinkedIn Pulse [En Línea], 9 de Julio 2025. Disponible: https://shorturl.at/Hn1OV [Último acceso: 21 08 2025].

[11] Mercado Libre, “Manage Automations” Mercado Libre Developers [En Línea]. Disponible: https://shorturl.at/mOQSO
[Último acceso: 21 08 2025]

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# AIcruiting: Plataforma Inteligente para Optimizar Procesos de Reclutamiento en el Sector Tecnológico

**Desiderio, Carlos Gabriel – Maver, Francisco – Rebuffo, Lucas – Rios, Brian Antonio - Sanchez, Tomás Agustín**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*Este trabajo presenta el desarrollo de **AIcruiting**, una plataforma de reclutamiento asistida por inteligencia artificial diseñada para optimizar los procesos de selección en el sector tecnológico. El sistema integra módulos para el filtrado automático de currículums, evaluaciones psicométricas y situacionales, y búsqueda activa de perfiles, con el objetivo de mejorar la eficiencia, transparencia y personalización para empresas y candidatos.*

*La solución está implementada bajo una arquitectura basada en microservicios desplegada en Amazon Web Services (AWS), garantizando escalabilidad, disponibilidad y seguridad. El proyecto se gestionó aplicando las prácticas del Project Management Institute (PMI) y un ciclo de desarrollo predictivo, con roles claramente definidos y trazabilidad de entregables.*

*Los resultados esperados incluyen una reducción significativa de los tiempos de selección, una mayor precisión en la coincidencia entre perfiles y vacantes, y una mejora sustancial en la experiencia de postulantes y reclutadores.*

**Palabras Clave**

Reclutamiento, Inteligencia Artificial, Procesos de Selección, Arquitectura de Software, PMI.

## Introducción

En el sector tecnológico, los procesos de reclutamiento enfrentan desafíos persistentes: falta de transparencia, plazos indefinidos, candidatos poco alineados con el perfil requerido y cargas operativas manuales. Estos problemas deterioran la calidad del proceso de selección y prolongan los tiempos de contratación. Tal como señala Chiavenato [1], la gestión del talento humano implica una serie de actividades integradas —planeación de recursos, reclutamiento, selección, evaluación y desarrollo— que, si no se optimizan, pueden convertirse en cuellos de botella para las organizaciones.

El desarrollo acelerado de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) está generando transformaciones en múltiples sectores. Eubanks [2] describe cómo la IA aplicada a recursos humanos permite automatizar tareas repetitivas, mejorar la coincidencia entre candidatos y vacantes, y aumentar la eficiencia en la adquisición de talento. En la misma línea, Upadhyay et al. [3] resalta que la adopción de IA en reclutamiento responde a una necesidad de adaptación a las demandas cambiantes del mercado laboral y a la presión por reducir los tiempos de contratación.

La relación entre tecnología y productividad ha sido ampliamente documentada. Daugherty y Wilson [4] muestran que la colaboración humano-máquina no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también abre nuevas oportunidades para rediseñar los procesos organizacionales. West [5] complementa esta visión al destacar que la automatización y la IA impulsan una reconfiguración del trabajo y exigen nuevas competencias para mantener la competitividad.

En este contexto, AIcruiting emerge como una plataforma web disruptiva, que integra filtrado automatizado de CVs, evaluaciones psicométricas y situacionales, y búsqueda activa de perfiles. Además, incorpora notificaciones en tiempo real y flujos configurables, todo con el objetivo de mejorar la eficiencia y experiencia tanto de candidatos como de reclutadores. Siguiendo la visión de Dessler y Varela [6], una gestión de selección más precisa y apoyada en herramientas avanzadas no solo incrementa la validez del proceso, sino que también

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



contribuye al logro de los objetivos estratégicos de la organización.

**Objetivo General**

Diseñar, desarrollar e implementar una plataforma tecnológica avanzada que optimice y automatice el proceso de selección de talento en el sector tecnológico, garantizando eficiencia, transparencia y personalización para empresas y candidatos.

**Objetivos Específicos**

- Implementar un sistema de filtrado inteligente basado en IA que permita priorizar candidatos alineados con los requisitos del puesto.
- Desarrollar un módulo de notificaciones en tiempo real que mejore la comunicación y transparencia durante el proceso de selección.
- Diseñar un sistema de generación de cuestionarios técnicos para adaptarlos al perfil del candidato y al puesto.
- Implementar un flujo de trabajo personalizable según las necesidades específicas de cada organización.
- Implementar la evaluación automática de los flujos de selección personalizables, generando métricas y reportes que permitan medir su eficacia y orientar su optimización.

**Alcance del proyecto**

El presente proyecto abarca el diseño, desarrollo, implementación y despliegue de AIcruiting**,** una plataforma web de reclutamiento asistida por inteligencia artificial orientada al sector tecnológico. La solución contempla funcionalidades para la gestión integral del proceso de selección, desde la recepción y análisis inicial de candidaturas hasta la comunicación de resultados a los postulantes.

**Funcionalidades incluidas en el alcance:**

- **Gestión de vacantes:** creación, publicación y seguimiento de ofertas laborales.
- **Recepción y filtrado de candidaturas:** análisis automático de currículums y priorización según criterios definidos por la empresa.
- **Evaluaciones psicométricas y situacionales:** aplicación de pruebas para medir competencias técnicas y blandas de los postulantes.
- **Notificaciones y comunicación:** envío automatizado de actualizaciones y recordatorios a postulantes y reclutadores.
- **Flujos de trabajo configurables:** adaptación del proceso de selección a las necesidades de cada organización.

El desarrollo se enmarca en una arquitectura basada en microservicios desplegados en la nube (AWS), garantizando escalabilidad, disponibilidad y seguridad de la información.

**Metodología**

**Metodología de gestión**

La gestión del proyecto AIcruiting se llevó a cabo siguiendo el marco metodológico propuesto por el *Project Management Institute* (PMI). Este enfoque se seleccionó por su capacidad para estructurar el ciclo de vida del proyecto en fases bien definidas: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre.

Dado que el proyecto presentaba un alto grado de claridad en los requerimientos iniciales y una baja probabilidad de cambios disruptivos en el alcance, se optó por un enfoque predictivo (*waterfall*), lo que permitió una planificación detallada de los hitos, los entregables y la asignación de recursos.

La estructura de equipo se definió según el Documento de Roles y Responsabilidades, con una clara separación de funciones:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Director de Proyecto:** liderazgo general, gestión de riesgos, control del avance y comunicación con stakeholders clave.
- **Coordinador Técnico:** enlace entre equipo funcional y técnico; responsable de la coherencia arquitectónica y la integración entre módulos.
- **Desarrolladores Back-end:** implementación de microservicios, APIs y lógica de negocio.
- **Desarrolladores Front-end:** diseño y programación de la interfaz gráfica y experiencia de usuario.
- **Equipo de QA:** diseño y ejecución de pruebas unitarias, de integración, de estrés y de seguridad.
- **Analistas Funcionales:** relevamiento de requisitos, modelado de casos de uso, y validación con el cliente.

Se implementó una matriz RACI para definir la responsabilidad de cada rol sobre los entregables.

**Metodología técnica**

La solución se implementó con una arquitectura híbrida basada en un Backend-for-Frontend (BFF) de carácter monolítico ligero, complementado por dos microservicios especializados: Analizador de CVs y Scoring. Esta topología prioriza la simplicidad operativa y la velocidad de evolución de la interfaz, al tiempo que encapsula el cómputo intensivo y el procesamiento de modelos en servicios desacoplados.

**Componentes principales**

- **BFF (monolito ligero):** expone endpoints optimizados para la UI, orquesta los flujos (recepción de CV, encolado/consulta de análisis y scoring), integra autenticación/autorización y gestiona notificaciones. El BFF actúa además como agregador y cache cuando corresponde, reduciendo la latencia percibida por el usuario.
- **Microservicio Analizador de CVs :** pipeline de *Natural Language Processing* (NLP) para extracción y normalización de campos desde CVs (habilidades, experiencia, educación, localización, etc.). Persiste *features* y genera eventos o callbacks que notificarán al BFF la finalización del análisis.
- **Microservicio Scoring:** motor de matching que combina reglas de negocio y modelos entrenables para calcular afinidad candidato–vacante; devuelve scores, explicabilidad por requisito y rankings.

El BFF persiste la postulación y dispara la tarea de análisis (sincrónica o por cola). Una vez que el Analizador completa la tarea, el BFF solicita a Scoring el cálculo del *score* (sync/batch según casos). Las interfaces entre componentes están sometidas a contratos API y *contract tests* para garantizar compatibilidad durante la evolución.

**Calidad, pruebas y resiliencia**

- Pruebas unitarias por componente, pruebas de integración BFF↔Analizador↔Scoring, para asegurar evolución segura.
- Pruebas de carga y estrés dirigidas a Analizador y Scoring (picos de ingestión y consultas).
- Mecanismos de resiliencia: *timeouts*, *retries* limitados, *circuit breakers* y fallback para proteger al BFF de latencias o fallos en microservicios.
- Observabilidad con *tracing* distribuido y dashboards por servicio (latencias, errores, throughput) para establecer SLIs/SLOs diferenciados por capa.

**Justificación técnica**

Este diseño permite iterar rápidamente sobre la UI y las reglas de negocio en el BFF, mientras los microservicios escalan y evolucionan independientemente según sus

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



perfiles de carga (procesamiento por lotes en Analizador vs. baja-latencia en Scoring).

El ciclo de desarrollo adoptó prácticas de integración continua (CI) y despliegue continuo (CD), con pruebas automatizadas en cada commit y despliegues controlados en entornos de *staging* antes de pasar a producción. El control de versiones se gestionó en repositorios Git, con ramas diferenciadas para desarrollo, pruebas y producción.

Para la calidad del software, se aplicaron pruebas:

- **Unitarias** (Pytest).
- **De integración** (Postman para APIs).
- **De carga y estrés** (JMeter).
- **De seguridad** (OWASP ZAP).

**Diseño y Arquitectura**

**Visión general**

AIcruting adopta un patrón BFF + 2 microservicios. El BFF centraliza la lógica de presentación y orquestación, y delega en dos servicios especializados el procesamiento intensivo: Analizador (NLP para CVs) y Scoring (cálculo de afinidad). Esta separación permite escalar selectivamente y mantener baja la complejidad operativa inicial.

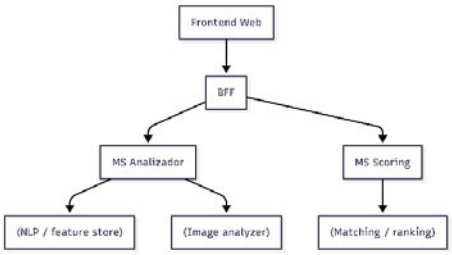



*Figura 1. Diagrama básico de arquitectura de la solucion.*

**Responsabilidades de los componentes**

**Analizador**

- Analizador de imágenes para la realización de pruebas psicométricas.
- Procesamiento de CVs: parsing, extracción de entidades, normalización y enriquecimiento semántico.

**BFF (Backend-for-Frontend)**

- Endpoints orientados a UI (vacantes, postulaciones, búsquedas y evaluaciones).
- Gestión de autenticación, autorización y notificaciones.
- Orquestación de procesos (registro de CV, encolado/llamada a Analizador, petición a Scoring).

**Scoring**

- Motor de matching: combina reglas y modelos para producir un *score* explicable.

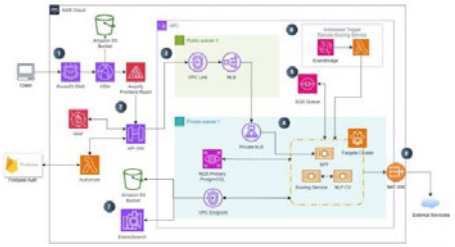


*Figura 2. Diagrama detallado de arquitectura de la solución con implementación en AWS.*

**Resultados esperados**

La implementación de AIcruiting se proyecta como una mejora significativa en la eficiencia, calidad y transparencia de los procesos de reclutamiento en el sector tecnológico. Según Eubanks [2] y Upadhyay et al. [3], la adopción de herramientas de IA en recursos humanos puede reducir los tiempos de contratación hasta en un 40 % y aumentar la precisión en la selección de candidatos mediante algoritmos de filtrado inteligente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se esperan los siguientes resultados:

**Indicadores de eficiencia**

- **Reducción de tiempo en filtrado inicial:** de un promedio de 10 horas-hombre semanales a menos de 3, gracias al análisis automatizado de CVs y la priorización automática de candidatos.
- **Optimización de entrevistas:** disminución del tiempo promedio de coordinación y agenda en un 50 %, mediante la automatización de notificaciones y recordatorios.
- **Aceleración en la cobertura de vacantes:** reducción del ciclo de contratación en un 30 %, al integrar búsqueda activa y evaluaciones psicométricas desde la primera etapa.

**Indicadores de calidad**

- **Incremento de la adecuación candidato-puesto:** aumento estimado del 20 % en la correspondencia entre el perfil del candidato y el puesto, medido por el índice de éxito post-contratación.
- **Disminución de rotación temprana:** reducción proyectada del 15 % en bajas voluntarias dentro de los primeros 6 meses, al mejorar el *matching* inicial.
- **Mejora en la experiencia del candidato:** incremento en las valoraciones positivas del proceso de selección, evaluadas a través de encuestas de satisfacción posteriores.

**Impacto organizacional**

La integración de AIcruiting permitirá que las empresas cuenten con un flujo de talento más predecible y datos consolidados para la toma de decisiones estratégicas. Tal como señalan Daugherty y Wilson [4], la sinergia entre IA y capital humano no solo eleva la productividad, sino que también habilita la reconfiguración de procesos internos para adaptarse a cambios en el mercado laboral.

**Trabajos Relacionados**

La aplicación de inteligencia artificial en procesos de selección ha sido abordada por distintas soluciones comerciales y académicas. Plataformas como HireVue y Pymetrics emplean algoritmos para evaluar candidatos mediante entrevistas grabadas y juegos psicométricos, respectivamente. Sin embargo, estas herramientas suelen centrarse en etapas específicas del proceso y carecen de una integración completa que abarque desde el filtrado inicial hasta la comunicación final.

A diferencia de muchas soluciones que fragmentan la lógica en numerosos microservicios desde el inicio, AIcruting adopta un enfoque híbrido —BFF monolítico ligero más dos microservicios especializados (Analizador y Scoring)— que reduce la complejidad operativa inicial y permite escalar selectivamente los componentes de mayor carga y variabilidad. En el ámbito académico, estudios como los de Eubanks [2] y Upadhyay et al. [3] describen modelos de IA orientados a la adquisición de talento, enfatizando beneficios como la reducción de sesgos y la mejora de la precisión en el *matching*. AIcruiting adopta estos principios, pero los expande con un enfoque modular y adaptable, respaldado por una arquitectura en microservicios y un despliegue escalable en la nube.

La propuesta también incorpora prácticas de transparencia y experiencia del candidato, siguiendo las recomendaciones de Chiavenato [1] y Dessler y Varela [6], quienes plantean que la gestión del talento debe equilibrar eficiencia operativa y cuidado en la relación empresa-candidato.

**Conclusión**

El desarrollo de AIcruiting evidencia cómo la aplicación de inteligencia artificial en el ámbito de recursos humanos puede transformar sustancialmente los procesos de reclutamiento, reduciendo tiempos,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aumentando la precisión en la selección de perfiles y mejorando la experiencia de todos los actores involucrados.

La combinación de filtrado inteligente de CVs, evaluaciones psicométricas y situacionales, búsqueda activa de perfiles y notificaciones automatizadas posiciona a la plataforma como una solución integral para las necesidades actuales del sector tecnológico. Como plantean Eubanks [2] y Upadhyay et al. [3], el uso de IA en la adquisición de talento no es solo una tendencia, sino una respuesta a la creciente complejidad y velocidad del mercado laboral.

Desde el punto de vista organizacional, AIcruiting contribuye a la profesionalización de los procesos de selección, asegurando la trazabilidad de la información y el cumplimiento de criterios objetivos en la evaluación de candidatos. Esta visión coincide con la perspectiva de Chiavenato [1] y Dessler y Varela [6], quienes destacan la importancia de metodologías sistemáticas y sustentadas en datos para la gestión del talento humano.

Finalmente, el enfoque modular y escalable adoptado, basado en microservicios y desplegado en la nube, garantiza la capacidad de la plataforma para evolucionar e incorporar nuevas funcionalidades, manteniéndose alineada con las innovaciones tecnológicas y las demandas emergentes del mercado. Esto habilita líneas futuras de trabajo orientadas a la integración con sistemas de gestión de RRHH, analítica avanzada de desempeño y modelos predictivos de rotación.

**Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por su valiosa colaboración en la realización de nuestra idea. Sus aportes y recomendaciones fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto, y la motivación que nos brindaron fue de gran importancia

**Referencias.**

[1] I. Chiavenato, *Gestión del talento humano*, 3rd ed. México: McGraw-Hill, 2008.

[2] B. Eubanks, *Artificial Intelligence for HR: Use AI to Support and Develop a Successful Workforce*, 2nd ed. London, UK: Kogan Page, 2022.

[3] A. K. Upadhyay, S. V. Shukla, and P. Sharma, *AI Revolution in HRM: The New Scorecard*. New Delhi, India: SAGE Publications, 2021.

[4] P. R. Daugherty and H. J. Wilson, *Human + Machine: Reimagining Work in the Age of AI*. Boston, MA: Harvard Business Review Press, 2018.

[5] D. M. West, *The Future of Work: Robots, AI, and Automation*. Washington, DC: Brookings Institution Press, 2018.

[6] G. Dessler and R. A. Varela, *Administración de recursos humanos: Enfoque latinoamericano*, 5th ed. México: Pearson Educación, 2011.

**Datos de Contacto:**

*Lucas Lihuel Rebuffo — Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Argentina — lrebuffo@frba.utn.edu.ar*

*Carlos Gabriel Desiderio — Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Argentina — cdesiderio@frba.utn.edu.ar*

*Francisco Maver — Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Argentina — fmaver@frba.utn.edu.ar*

*Brian Antonio Rios — Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Argentina — brios@frba.utn.edu.ar*

*Tomás Agustín Sánchez — Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Argentina — tosanchez@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información (CONAIISI 2025)**
**Versión Camera-Ready**

# Ecopunto 360: Plataforma Digital Inteligente para la Gestión y Trazabilidad de Residuos Reciclables Urbanos

**Nicolás Galfione, Thiago Martin Cabrera Lavezzi, Juan Ignacio Borda, Luca Sosa Cuenca, Ezequiel Manuel Alfonso**
**Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires**
**ngalfione@frba.utn.edu.ar, tcabreralavezzi@frba.utn.edu.ar, jborda@frba.utn.edu.ar, lsosacuenca@frba.utn.edu.ar, ealfonso@frba.utn.edu.ar**

**Resumen**

*El incremento sostenido en la generación de residuos urbanos constituye uno de los principales desafíos ambientales y sociales de las ciudades del mundo moderno. En países como Argentina, cada habitante produce en promedio entre 1 y 1,15 kg de residuos por día, de los cuales menos del 15% logra ser recuperado mediante circuitos de reciclaje formal. Esta baja tasa de aprovechamiento no solo limita la reducción del impacto ambiental, sino que también refleja una falta de conexión clara entre los actores involucrados en la cadena de valor del reciclaje: ciudadanos, organizaciones no gubernamentales, municipios y empresas recicladoras. A su vez, la ausencia de trazabilidad, la escasez de información confiable y la carencia de mecanismos de incentivo económico dificultan la creación de políticas públicas efectivas y reducen las oportunidades para que organizaciones recicladoras mejoren su capacidad operativa. A esto se suma la creciente presión por parte de organismos internacionales y gobiernos locales para avanzar hacia modelos de economía circular y ciudades más sostenibles.*

*En este contexto, presentamos Ecopunto 360, una plataforma digital orientada a la vinculación de actores generadores de residuos, que pueden ser ciudadanos y organizaciones no gubernamentales, y actores recicladores, que pueden ser empresas recicladoras con puntos de recepción de residuos o ciudadanos individuales que requieran comprar residuos, con el fin de potenciar la economía circular y fomentar prácticas sostenibles en ciudadanos individuales y organizaciones.*

*La arquitectura del sistema se basa en un modelo de servicios distribuidos y APIs, con soporte para notificaciones, colas de procesamiento y generación dinámica de reportes ambientales. Esta estructura permite garantizar escalabilidad, seguridad y flexibilidad en la integración de nuevos actores. Un aspecto distintivo de la propuesta es la incorporación de módulos de análisis que permiten registrar, centralizar y reportar información cuantitativa sobre reciclaje. A ello se suma la integración con Google Maps, que facilita la identificación de puntos de recepción y actores cercanos, brindando a los usuarios una experiencia más intuitiva y mejorando la logística de recuperación de materiales. Esta combinación no solo favorece la transparencia en los procesos, sino que también puede ser utilizada como insumo en políticas públicas y programas de beneficios fiscales para organizaciones que acrediten niveles crecientes de recuperación de materiales, y de esta manera lograr un incentivo real y útil para las organizaciones y para la sociedad donde se encuentren.*

*De esta manera, Ecopunto 360 se posiciona como una herramienta tecnológica de impacto social y ambiental, que contribuye a la construcción de entornos urbanos más sostenibles, alineados con el paradigma de las ciudades inteligentes, y que promueve incentivos concretos para ampliar el alcance del reciclaje en la región.*

**Palabras Clave**
Economía Circular, Geolocalización, Plataforma Digital, Reciclaje, Sustentabilidad.

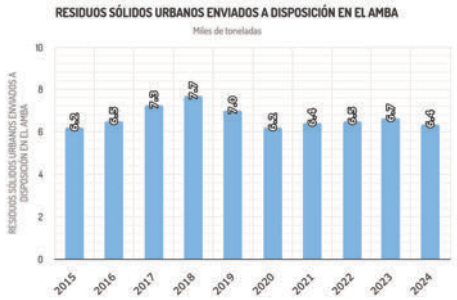
## Introducción

La gestión inadecuada de residuos reciclables representa uno de los desafíos ambientales más significativos en las áreas urbanas de Argentina y América Latina. En la región, la producción de desechos presenta un nivel altísimo de residuos que día a día elevan más la huella de carbono. A

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

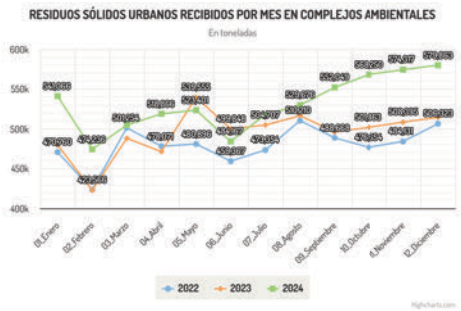


pesar de esta elevada producción de desechos, los índices de reciclaje formal, siendo este el sistema de recolección y procesamiento de residuos reciclables a través de programas municipales y organismos recicladores [1], de reciclaje permanecen muy bajos. Esta situación agrava la presión sobre los rellenos sanitarios, condiciona la degradación ambiental y evidencia la ausencia de mecanismos efectivos para insertar estos materiales valorizables en circuitos productivos estables. A continuación podemos ver un gráfico de residuos sólidos enviados a disposición en el AMBA, expresado en miles de toneladas [2].




Podemos observar que los cambios en los últimos años no han sido significativos, reduciendo solo una pequeña fracción de la totalidad de residuos sólidos.

También se dispone de otro gráfico donde podemos ver que año tras año, la cantidad de residuos sólidos recibidos en complejos ambientales es cada vez mayor. Podemos ver que el último período anual documentado hasta la fecha, el correspondiente al año 2024, ha enviado significativamente más residuos sólidos a diferentes complejos ambientales [2].




La disparidad entre los actores interesados en reciclar —como cooperativas, organizaciones no gubernamentales (ONGs) y recuperadores urbanos— y los generadores de materiales reciclables (ciudadanos, comercios y empresas) surge como un factor crítico. La falta de canales digitales integrados, la dispersión geográfica de los actores y la informalidad en las transacciones constituyen barreras estructurales que dificultan la consolidación de una economía circular eficiente. Esta desarticulación reduce la participación ciudadana sostenida, impide una trazabilidad adecuada de los flujos materiales y entorpece la implementación de políticas públicas basadas en datos.

Diversos esfuerzos previos han buscado fomentar prácticas de reciclaje, incluyendo estrategias de separación en origen, implementación de puntos verdes y vinculaciones con cooperativas de recicladores urbanos [3]. La legislación local —como la Ley Basura Cero de la Ciudad de Buenos Aires— y las normativas nacionales de gestión integral de residuos señalan la importancia de reducir, reutilizar y reciclar a través de políticas públicas [4]. No obstante, estas iniciativas enfrentan limitaciones por falta de infraestructura tecnológica, escasa continuidad operativa y carencia de sistematización en los datos recolectados, lo que deriva en soluciones fragmentadas y poco sostenibles. En este contexto, el Programa *Argentina Recicla* [5] busca fortalecer la inclusión social de recicladores urbanos y promover la gestión integral de residuos reciclables, lo que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



refuerza la necesidad de herramientas digitales que articulen a los distintos actores.

El presente trabajo propone el diseño e implementación de *Ecopunto 360*, una plataforma digital que conecta generadores de residuos reciclables con potenciales compradores o receptores de donaciones. A través de una plataforma web, se busca facilitar la gestión de residuos, reducir su disposición en rellenos sanitarios y promover alianzas entre ciudadanos, recicladores, ONGs y municipios.

El objetivo final es contribuir al desarrollo sustentable mediante el uso de tecnología digital aplicada a la gestión ambiental, que permita hacer un puente entre los diferentes actores del circuito de reciclaje de residuos y obtener un avance significativo en la reducción de la generación de residuos.

**Descripción General de la Solución**

La propuesta consiste en el diseño y desarrollo de Ecopunto 360, una plataforma digital orientada a mejorar la gestión de residuos reciclables mediante la conexión directa entre generadores, compradores y receptores de materiales. La solución se materializa como una aplicación web, accesible y fácil de usar, que funciona como un marketplace ambiental. Su objetivo principal es fomentar la economía circular y reducir el volumen de residuos dispuestos en rellenos sanitarios, promoviendo al mismo tiempo la trazabilidad, eficiencia y participación comunitaria.

**Tecnologías utilizadas**

La implementación de la plataforma se proyecta bajo una arquitectura inicialmente monolítica, con planes a futuro de convertir a microservicios con el objetivo de garantizar escalabilidad, resiliencia y facilidad de mantenimiento. El backend se desarrolla en Java con Spring Boot, exponiendo una API RESTful segura mediante autenticación basada en tokens JWT. El frontend se implementa en Next.js con JavaScript y TypeScript, favoreciendo una interfaz modular y dinámica para la interacción con los usuarios. La persistencia de datos se gestiona en PostgreSQL, elegida por su soporte para operaciones geoespaciales, necesarias para la administración de puntos de recepción de residuos. Asimismo, se utiliza **Docker** para la contenedorización de servicios.

**Perfiles de Usuario y Funcionalidades**

La plataforma contempla tres perfiles principales de usuario:

**Generadores de residuos:** ciudadanos, comercios o empresas que desean vender o donar materiales reciclables.

**Compradores:** recicladores, cooperativas, industrias y empresas interesadas en adquirir materiales como insumos.

**Receptores de donaciones:** ONGs, municipios y programas sociales que utilizan los materiales reciclables en proyectos de impacto ambiental o comunitario.

Cada usuario puede registrarse, configurar sus preferencias, publicar materiales, consultar publicaciones y comunicarse dentro del sistema. Las funcionalidades están diseñadas para facilitar la autogestión, el filtrado inteligente de información y la coordinación efectiva entre partes.

**Mapa Interactivo y Geolocalización**

Una de las herramientas principales de Ecopunto 360 es el mapa interactivo, que permite a los usuarios visualizar, en tiempo real, los actores cercanos según su ubicación geográfica. El sistema muestra información relevante como tipo de materiales aceptados, modalidad (venta o donación), horarios de recepción y condiciones particulares. Este enfoque georreferenciado reduce tiempos y costos logísticos, y mejora la eficiencia operativa de los recicladores y cooperativas.

**Publicación de Materiales**

Los generadores de residuos pueden publicar materiales disponibles, incluyendo descripción, tipo, cantidad, fotografías y modalidad de entrega. Los compradores y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



receptores, al configurar sus intereses, reciben notificaciones automáticas que les permiten responder de forma rápida y oportuna. La plataforma incluye un sistema de mensajería interna que facilita la coordinación de la entrega, negociación de precios (en caso de venta) y confirmación de transacciones. Todas las interacciones quedan registradas en un historial accesible, lo que garantiza trazabilidad y transparencia.

**Donación de materiales reciclables**

Dentro de la propuesta metodológica, se contempla la implementación de puntos de recepción de materiales reciclables, registrados y gestionados por organizaciones no gubernamentales a través de la plataforma. Estos puntos constituyen espacios físicos donde los ciudadanos pueden donar voluntariamente residuos valorizables, tales como papel, cartón, plásticos, vidrio o metales, con el objetivo de incorporarlos a circuitos de reciclaje formal.

El registro de cada punto en el sistema incluye información geográfica (dirección, coordenadas), horarios de recepción, materiales aceptados y la organización responsable de su gestión. Esta información se integra en el mapa interactivo dentro de la aplicación, lo que facilita a los usuarios identificar el lugar más cercano para realizar la entrega.

La metodología propone que el uso de la aplicación sirva como puente entre la ciudadanía y las organizaciones recicladoras, reduciendo las barreras de acceso a los sistemas de recuperación de residuos y promoviendo la trazabilidad de los materiales entregados. Asimismo, este esquema permite generar indicadores cuantitativos sobre la participación ciudadana, la cantidad de material recuperado y la localización geográfica de los puntos más activos, constituyendo así una herramienta clave para la planificación y la toma de decisiones en materia de gestión ambiental.

**Materiales Aceptados**

La plataforma admite una amplia variedad de residuos reciclables, agrupados en las siguientes categorías: Aceite vegetal usado (para biodiesel), equipos electrónicos y electrodomésticos (reacondicionamiento o reciclaje), pilas y baterías usadas (disposición segura), metales: aluminio, cobre, acero, hierro, plásticos, cartón y vidrio.
Esta variedad de materiales corresponde a una clasificación inicial, permitiendo abarcar un amplio espectro de necesidades ambientales.

**Puntuaciones y beneficios**

El sistema integra un módulo de incentivos basado en beneficios y puntuaciones orientado a promover la participación activa de los usuarios y la trazabilidad de los procesos de reciclaje. Cada interacción de los ciudadanos en los puntos de recepción queda registrada y asociada a un esquema de puntuación, lo que permite cuantificar su nivel de compromiso en la reducción de residuos sólidos urbanos. En paralelo, las organizaciones que gestionan los centros de recepción reportan de manera estandarizada los volúmenes y tipologías de materiales recuperados. Esta dinámica posibilita la construcción de un conjunto de datos estructurado y confiable, cuya explotación analítica resulta clave para la evaluación de impacto y para el desarrollo de futuros mecanismos de incentivo fiscal. En este sentido, la generación de métricas verificables de reciclaje abre la posibilidad de articular políticas públicas basadas en evidencia, orientadas a fortalecer la economía circular y a consolidar la participación de organizaciones sociales en los procesos de gestión de residuos.

**Modelo de Sostenibilidad**

Ecopunto 360 contempla un modelo de ingresos mixto, orientado a garantizar la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



viabilidad económica del proyecto. Las fuentes de ingresos abarcadas incluyen:

- Comisión por transacción monetaria realizada mediante la plataforma.
- Publicidad en la plataforma para empresas interesadas en asociarse a temáticas ambientales.
- Alianzas con programas públicos y privados que promuevan la gestión responsable de residuos.

Este modelo combina ingresos transaccionales, recurrentes y por servicios, alineados con la misión ambiental y social del proyecto.

**Mapa Interactivo y Geolocalización**

Una de las herramientas principales de Ecopunto 360 es el mapa interactivo, que permite a los usuarios visualizar los actores cercanos según su ubicación geográfica en tiempo real. Esta funcionalidad se logra a través de la integración con

Google Maps, que facilita la identificación de puntos de recepción y otros actores cercanos, brindando una experiencia más intuitiva y mejorando la logística de recuperación de materiales.

El sistema muestra información relevante sobre cada punto de reciclaje, como el tipo de materiales que acepta, la modalidad (venta o donación), los horarios de recepción y cualquier otra condición particular. Este enfoque georreferenciado es crucial para reducir los tiempos y costos logísticos, además de mejorar la eficiencia operativa de recicladores y cooperativas.

La integración con Google Maps no solo optimiza la logística, sino que también sirve como un puente entre los ciudadanos y las organizaciones de reciclaje, derribando las barreras de acceso a los sistemas de recuperación de residuos.



*Ilustración conceptual de la funcionalidad del mapa. La imagen es representativa y no refleja el diseño final de la plataforma.*

**Trabajos Relacionados**

En los últimos años, han surgido diversas iniciativas digitales orientadas a mejorar la gestión de residuos urbanos y promover prácticas de economía circular [6] . Entre ellas se encuentran aplicaciones móviles desarrolladas por gobiernos municipales que permiten a los ciudadanos reportar puntos de recolección. No obstante, estas soluciones suelen estar centradas exclusivamente en la administración pública, con escasa participación de actores del sector privado o de la sociedad civil organizada.

También existen plataformas más orientadas al mercado, como marketplaces de productos reciclados o servicios de logística inversa, pero muchas de estas propuestas están focalizadas en sectores industriales específicos, lo que limita su aplicabilidad en contextos locales.

A diferencia de estas experiencias, Ecopunto 360 propone una plataforma inclusiva y multifuncional, que integra tanto la lógica de oferta y demanda de materiales reciclables como la posibilidad de realizar donaciones a organizaciones sociales o programas públicos. La incorporación de funcionalidades como el mapa geolocalizado, el sistema de notificaciones automáticas y la trazabilidad de transacciones responde a una necesidad concreta de conectar de manera eficiente a múltiples actores que operan de forma fragmentada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Además, el modelo de sostenibilidad económica basado en comisiones, suscripciones y alianzas institucionales permite proyectar una solución escalable y adaptable a distintos entornos. En este sentido, Ecopunto 360 se diferencia por su enfoque integral, su capacidad de articulación público-privada y su orientación al impacto ambiental y social desde el diseño.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El desarrollo de Ecopunto 360 representa un avance significativo en el diseño de herramientas digitales orientadas a la gestión sostenible de residuos reciclables. A partir de un enfoque centrado en la economía circular, la plataforma propone una solución que articula a múltiples actores del ecosistema de reciclaje: generadores, compradores y receptores de donaciones. Su diseño funcional y operativo apunta a facilitar transacciones, optimizar la logística mediante geolocalización y promover la trazabilidad de los materiales reciclados.

No obstante, el proyecto aún presenta desafíos importantes. Entre las limitaciones actuales, se encuentra la necesidad de alcanzar una masa crítica de usuarios para que el sistema funcione de manera eficiente, así como la dependencia de conectividad digital en ciertos sectores sociales o regiones. También será clave la integración con normativas locales de gestión de residuos y el establecimiento de alianzas estratégicas con actores institucionales.

En cuanto a los trabajos futuros, se proyecta el desarrollo completo del MVP y su validación mediante pruebas piloto en ciudades seleccionadas. A partir de allí, se planifica una expansión progresiva a nivel nacional, con incorporación de nuevas funcionalidades como certificaciones de reciclaje, programas de incentivos y herramientas de medición de impacto ambiental, adaptando la plataforma a distintos contextos regionales. Finalmente, será necesario realizar estudios complementarios sobre comportamiento de los usuarios, barreras de adopción tecnológica y estrategias de fidelización para asegurar la sostenibilidad e impacto del sistema en el tiempo.

Como posibles líneas de mejora, la plataforma abre un amplio abanico de oportunidades de evolución tecnológica. En primer lugar, la incorporación de algoritmos de optimización permitiría definir rutas eficientes de recolección entre los puntos de recepción y las plantas industriales de las organizaciones, reduciendo costos logísticos y la huella ambiental asociada al transporte. Asimismo, mediante técnicas de Big Data y aprendizaje automático, se podrían desarrollar modelos de predicción de generación de residuos, permitiendo anticipar la demanda de procesamiento y ajustar la capacidad de las organizaciones recicladoras. A nivel gubernamental, el sistema podría extenderse para emitir alertas cuando ciertos indicadores de reciclaje desciendan por debajo de valores críticos, ofreciendo una herramienta de gestión proactiva en políticas públicas ambientales. Finalmente, la plataforma podría expandir su alcance incorporando esquemas de intercambio y compra de productos reutilizables, fomentando una economía circular más robusta y sostenible.

**Agradecimientos**

Agradecemos especialmente a Hernán Martel, quien nos acercó la idea inicial que dio origen a este proyecto. Su propuesta nos permitió acercarnos a una temática en la que teníamos poco conocimiento previo, motivándonos a investigar en profundidad y comprender sus beneficios e impacto.

## Referencias

[1] Maria Besiou, Patroklos Georgiadis, Luk N. Van Wassenhove, “Official recycling and scavengers: Symbiotic or conflicting? ”https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221711010393

[2] Subsecretaría de ambiente, datos públicos de generación de residuos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



https://ciam.ambiente.gob.ar/repositorio.php?tid=8#
[3] Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, "Más y mejor separación en origen".
https://buenosaires.gob.ar/cambioclimatico/mas-y-mejor-separacion-en-origen
[4] Boletín oficial de la Ciudad de Buenos Aires, "LEY 1854 2005"
https://boletinoficial.buenosaires.gob.ar/normativaba/norma/81508
[5] Ministerio de Desarrollo Social de la Nación Argentina, *Programa Argentina Recicla*, Resolución 642/2021
https://www.argentina.gob.ar/justicia/derechofacil/leysimple/seguridad-social/programa-argentina-recicla
[6] R. Rodríguez, *Economía circular y ambiente: una evaluación económico-financiera de estrategias de valorización de residuos en Bahía Blanca*, CONICET, 2023.
https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/263082

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema experto de apoyo a la toma de decisiones para el tratamiento de hemodiálisis en niños

**Gluk, Damián; Goldfarb, Matías; Goldfarb, Nicolás; Lamas, Chabela; Trupkin, Ilan**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*La Inteligencia Artificial es un recurso clave de apoyo para profesionales de distintas áreas, entre las cuales se destaca la medicina. En particular, tratamientos nuevos y de difícil definición, como la hemodiálisis en niños recién nacidos, pueden beneficiarse del uso de modelos de Inteligencia Artificial, asistiendo en la toma de decisiones clínicas. Entre estas técnicas, la aplicación de modelos de Lógica Difusa resulta adecuada para procesar el conocimiento experto y la generación de recomendaciones clínicas fundamentadas. En este contexto, el objetivo del presente trabajo es formalizar el desarrollo de un sistema experto de apoyo a la toma de decisiones para el tratamiento de hemodiálisis en niños, mediante el uso de Lógica Difusa.*

**Palabras Clave**

Nefrología, Hemodiálisis, Inteligencia Artificial, Sistema experto, Lógica Difusa.

## Introducción

Actualmente, la Inteligencia Artificial (IA) es una rama de las Ciencias Computacionales que promete transformar diversas disciplinas, entre las cuales se destaca la medicina. A partir de la pandemia de COVID-19, numerosas organizaciones de salud comenzaron a impulsar iniciativas que incorporan el uso de IA en distintos ámbitos del sistema de salud [1].

Desde entonces, los algoritmos de IA han comenzado a desempeñar un rol de apoyo en la labor de los profesionales de la salud, tanto en entornos clínicos como en investigaciones científicas. Estos sistemas procesan grandes volúmenes de información, identifican patrones y generan resultados que deben ser validados por profesionales médicos, teniendo en cuenta el contexto de los pacientes, logrando concluir en diagnósticos más precisos [1]. De esta manera, la IA no busca reemplazar al factor humano, sino complementarla, empleando herramientas para analizar datos complejos y extraer conocimiento útil para la toma de decisiones [2].

Para el desarrollo de sistemas de apoyo a la toma de decisiones se emplean sistemas expertos, los cuales parten del conocimiento privado y público, logrando emular el razonamiento de un experto humano para resolver tareas específicas dentro de un dominio determinado [3]. En particular, para la generación de recomendaciones sobre tratamientos médicos, uno de los enfoques posibles es el uso de modelos basados en Lógica Difusa, definida como "un mecanismo del razonamiento aproximado que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de datos de entrada vagos, ambiguos, imprecisos, con ruido o incompletos" [4].

En este marco de avances tecnológicos, han surgido múltiples líneas de investigación, entre ellas la impulsada por el grupo "GEMIS.BA", creado en 2009, el cual pertenece a la UTN FRBA. Actualmente, este grupo cuenta con un equipo diverso conformado por investigadores, tesistas doctorales y de maestría, así como estudiantes de grado. Una de sus principales líneas de trabajo es la "Inteligencia Artificial aplicada a la salud", en la cual se desarrollan proyectos en áreas como la salud mental y la nefrología [5].

En el contexto de la presente línea de investigación, surge el presente trabajo, desarrollado en el marco de la cátedra "Proyecto Final" del quinto año de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



carrera Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN FRBA. El objetivo es formalizar el desarrollo de un sistema experto de apoyo a la toma de decisiones para el tratamiento de hemodiálisis en niños, denominado "DialySmart". Para cumplir con dicho objetivo, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en la primera sección, se realiza una contextualización del problema. En la segunda sección, se detalla la solución propuesta. Finalmente, en la tercera sección, se detallan las conclusiones y futuras líneas de trabajo.

## 1. Contextualización del Problema

En esta sección se establece el marco contextual que define el desarrollo del sistema DialySmart. Para ello, se lleva a cabo una revisión de trabajos relacionados con el uso de IA en medicina (sección 1.1), se detalla la problemática hallada en el área de la nefrología pediátrica (sección 1.2) y, por último, se describe un relevamiento realizado con profesionales (sección 1.3).

### 1.1 Trabajos Relacionados

Para la elaboración del presente trabajo, se recopilan fuentes provenientes de libros, artículos científicos, entrevistas e informes, con el objetivo de obtener definiciones y ejemplos relevantes en el ámbito de la medicina y la IA. Esta búsqueda se realiza principalmente a través de Google Scholar [6], herramienta que permite identificar investigaciones previas sobre sistemas de apoyo a la toma de decisiones aplicados a distintas ramas de la medicina.

Entre los trabajos investigados, se destaca uno [7] que profundiza en la problemática de las enfermedades cardiovasculares durante el embarazo, la cual se ve afectada por la escasa disponibilidad de especialistas que dominen las múltiples disciplinas médicas involucradas, dificultando tanto el diagnóstico como la elección del tratamiento adecuado.

Asimismo, se identifica otro estudio centrado en el desarrollo de un sistema de recomendaciones sobre el uso de IA en el campo de la nefrología [8]. Este trabajo resalta el valor de la IA en el ámbito médico, especialmente en el tratamiento de pacientes con enfermedad renal crónica que requieren terapias de sustitución renal, donde la detección temprana resulta fundamental y puede ser facilitada por estos modelos.

Por último, el grupo GEMIS.BA presenta estudios que pertenecen a la línea de investigación previamente mencionada ("Inteligencia Artificial aplicada a la salud"), que abordan el desarrollo de un sistema de apoyo a la toma de decisiones clínicas. En estos, se resalta el rol fundamental que desempeñan los conocimientos basados en datos, para mejorar la toma de decisiones clínicas, así como la importancia de involucrar activamente a los profesionales de la salud en el desarrollo de este tipo de soluciones informáticas [9, 10].

### 1.2 Descripción del problema

A partir de la revisión de literatura, se establece un marco del diseño de la plataforma DialySmart, orientada a generar aportes de utilidad para la industria de la nefrología pediátrica. Luego de una serie de reuniones con un equipo de profesionales del Hospital Garrahan [11], se detecta la necesidad concreta de desarrollar un sistema de apoyo a la toma de decisiones para el tratamiento de hemodiálisis. Este tratamiento, definido como "un procedimiento vital para la insuficiencia renal que elimina los desechos y el exceso de líquidos de la sangre, y regula la presión arterial" [12], se está comenzando a implementar en pacientes recién nacidos dentro de la institución. En este contexto, la creación de una plataforma que brinde asistencia a los profesionales médicos en la planificación y ejecución de sesiones de hemodiálisis adquiere relevancia, particularmente dado que la institución cuenta con solo dos especialistas en esta área.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 1.3 Relevamiento Profesional

Una vez identificada la problemática que da origen al presente trabajo, a principios de abril del presente año, se decide someter la propuesta a una evaluación por parte de un grupo de profesionales especializados en la temática. Para ello, se establece contacto con médicos, nefrólogos pediátricos y residentes de nefrología pediátrica, a través de una encuesta. El objetivo de esta instancia es recopilar su opinión respecto a la utilidad de una plataforma con las características planteadas.

Dicha encuesta es elaborada por el equipo de trabajo y validada por un equipo docente, convirtiéndose en una fuente de conocimiento clave para la formalización del presente trabajo. Cabe aclarar que, la versión completa de la encuesta se encuentra disponible en el repositorio del proyecto [13].

En total, participan 26 profesionales, de los cuales el 80,8% se desempeña en instituciones de salud pública. El porcentaje restante trabaja en instituciones privadas o en ámbitos académicos y de investigación. De la misma manera, todos los profesionales indican participar en la toma de decisiones relacionadas con tratamientos de diálisis en pacientes pediátricos. No obstante, el 84,6% señala hacerlo de forma directa. Por otro lado, el 65,4% afirma utilizar actualmente alguna herramienta tecnológica para apoyar sus decisiones clínicas en este tipo de tratamientos.

En la Figura 1, se observan los resultados obtenidos ante la pregunta relacionada con la percepción del valor de una herramienta basada en reglas médicas. El 53,8% de los médicos, consideran que podría mejorar la calidad de las decisiones en determinados casos, mientras que el 34,6% opina que podría ser útil en muchos casos. Un 7,7% expresa no estar seguro al respecto, y el porcentaje restante no la considera necesaria.

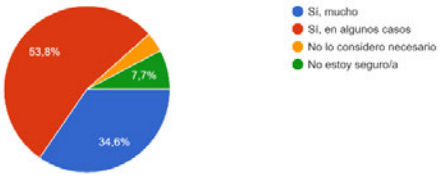



*Figura 1: Valoración de una herramienta tecnológica para apoyar decisiones clínicas.*

Por otra parte, en la Figura 2 se presentan los resultados de la encuesta frente al interrogante sobre cuáles son los principales desafíos que enfrentan al momento de tomar decisiones sobre diálisis en niños. El 96,2% de los médicos identifica la complejidad de los casos como el factor más relevante. Además, un 15,4% menciona la falta de tiempo y un 3,8% la escasa experiencia como dificultades adicionales.

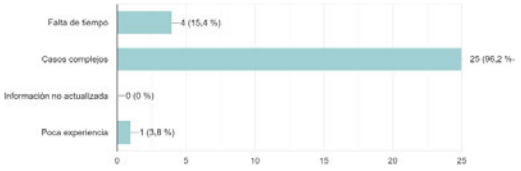



*Figura 2: Principales desafíos identificados en la toma de decisiones clínicas de nefrología pediátrica.*

Finalmente, el 80,8% de los encuestados manifiesta interés en utilizar una herramienta web como la propuesta durante su práctica clínica diaria. Este resultado, reflejado en la Figura 3, representa una necesidad en este ámbito profesional, la cual puede ser abordada mediante el desarrollo del presente proyecto.

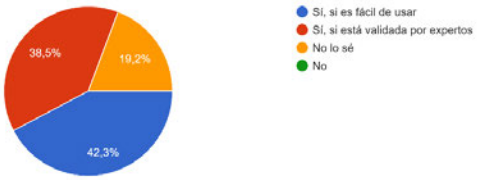



*Figura 3: Interés en incorporar la plataforma en la práctica clínica habitual.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 2. Solución propuesta

En esta sección se define la metodología de trabajo (sección 2.1), se especifican los requerimientos que el sistema informático debe cumplir (sección 2.2), para luego describir el desarrollo del modelo Lógica Difusa (sección 2.3) y, por último, detallar los distintos módulos que componen la interfaz de usuario (sección 2.4).

### 2.1 Metodología de Trabajo

A continuación, se describe la metodología de trabajo utilizada para el desarrollo del producto solución propuesto (DialySmart). De esta manera, se incluye la etapa de gestión de reglas, conceptos y valores, así como también la fase de administración de casos clínicos, sesiones de diálisis y la consulta de recomendaciones personalizadas para cada tratamiento.

En lo que respecta a las tecnologías seleccionadas, el sistema informático se implementa utilizando Node.js y React en backend y frontend respectivamente. Además, se emplea Python para el desarrollo del modelo de IA. Se decide lo anterior dado que la mayoría de los miembros del equipo cuenta con experiencia en las tecnologías, así como también existen ventajas técnicas. Por un lado, Node.js está orientado a arquitecturas modularizadas [14] como la que se plantea en el sistema a desarrollar. Por otro lado, Python es ampliamente reconocido por su eficacia en la construcción de modelos de IA [15].

Para la gestión del proyecto y el desarrollo de la solución de software se adopta un enfoque predictivo, destacado por la conducción de procesos de forma secuencial, con acciones y objetivos bien definidos. No obstante, si bien permite cierto grado de flexibilidad, las desviaciones respecto al plan original son limitadas [16].

En las etapas iniciales, se elabora un cronograma con fechas de validación junto al grupo de profesionales en nefrología pediátrica, distribuidos a lo largo del presente año, con el objetivo de asegurar un desarrollo adecuado del proyecto, el cual mantiene un respaldo técnico. De esta manera, se logra luego definir un diagrama de GANTT, donde se establece el orden y la duración de las tareas planificadas, que incluyen el desarrollo de los distintos módulos del sistema, el cual se almacena en el repositorio del proyecto [17]. Cabe aclarar que, estos módulos se detallan en una de las secciones siguientes (sección 2.4).

### 2.2 Definición de requerimientos

Luego de dos reuniones realizadas a mediados de mayo con el equipo de profesionales, se definen los requerimientos funcionales y no funcionales que debe cumplir DialySmart. Es importante destacar que, estos requerimientos fueron establecidos en función de los distintos perfiles de usuario involucrados (nefrólogos pediátricos, residentes e ingenieros del conocimiento), así como también teniendo en cuenta las particularidades del dominio. El documento de relevamiento del cual surgen estos requerimientos se encuentra disponible en el repositorio del proyecto [13].

En primer lugar, se determina que la plataforma web debe permitir el uso concurrente de, al menos, quince usuarios autenticados, a fin de garantizar su operatividad en contextos de alta demanda, como los que se presentan en el equipo de especialistas del Hospital Garrahan.

En segundo lugar, se define que únicamente los nefrólogos pediátricos tienen la capacidad de generar nuevos casos clínicos dentro de su organización. Cabe aclarar que, cada organización cuenta con un grupo de usuarios (residentes y nefrólogos pediatras) que pueden compartir entre sí los casos clínicos registrados. No obstante, el sistema no permite el acceso a datos clínicos entre distintas organizaciones, asegurando la privacidad y confidencialidad de la información. Los ingenieros del conocimiento disponen de acceso a los casos clínicos con el fin de colaborar en el desarrollo y evaluación del sistema experto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Asimismo, los casos clínicos deben incluir datos como la edad del paciente, el diagnóstico médico y el acceso vascular, así como también contemplar la carga de las sesiones de hemodiálisis correspondientes.
En tercer lugar, en lo que respecta a las sesiones de diálisis, el sistema debe permitir que solo los nefrólogos pediátricos puedan registrar nuevas sesiones asociadas a un caso clínico. Al cargar una sesión, se deben completar una serie de campos técnicos: el día de la sesión, el laboratorio preHD (Sodio, Potasio, Bicarbonato, Hemoglobina, Calcio, Urea y Albúmina), el peso prediálisis (kg), el peso de normohidratacion (kg), los valores prediálisis (peso, Tensión Arterial Sistólica y Tensión Arterial Diastólica), el tiempo de diálisis, el filtro empleado (F3, F4, entre otros), el QB (ml/min), el Qd (ml/min), la ultrafiltración (ml), los valores post diálisis (peso, Tensión Arterial Sistólica y Tensión Arterial Diastólica), la presencia de albúmina intradiálisis, de la transfusión de glóbulos rojos y de la hipotensión intradiálisis. Es importante destacar que los primeros cinco campos son obligatorios al momento de registrar una sesión, mientras que los restantes son opcionales, ya que se completan posteriormente, una vez finalizada la sesión.
Por último, se establece que únicamente los nefrólogos pediátricos pueden solicitar recomendaciones personalizadas al sistema experto. Estas recomendaciones se basan en las sesiones de diálisis previamente ingresadas en el caso clínico.

### 2.3. Modelo de Lógica Difusa

A partir de que las recomendaciones de un caso clínico que la plataforma debe proveer no son binarias ni exactas, sino que se fundamentan en juicios cualitativos, la implementación sugerida resulta ser un modelo de Lógica Difusa, ya que permite procesar una base de conocimientos y arribar a conclusiones clínicas adecuadas [4].
La base de conocimientos que procesa dicho modelo posee reglas difusas capaces de capturar y expresar el conocimiento humano. Éstas se encuentran representadas como sentencias condicionales que poseen el formato de “Si …, entonces …”. Asimismo, la base de conocimientos mencionada almacena las funciones de pertenencia, las cuales serán desarrolladas más adelante en esta sección. En el presente trabajo, dicho repositorio se implementa utilizando una base de datos no relacional (MongoDB), y se integra con el módulo de IA del sistema informático. A continuación, se observa el diagrama de arquitectura de la solución propuesta, donde se ilustra dicha integración (Figura 4).

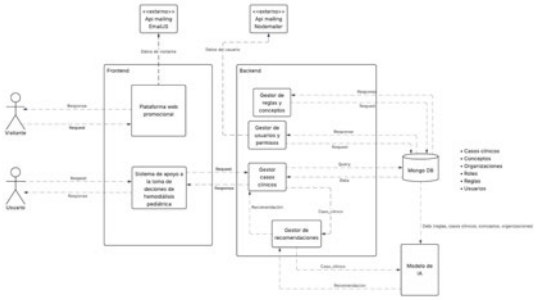



*Figura 4: Diagrama de arquitectura de DialySmart. Fuente: los autores.*

Para la generación de reglas difusas, se recurre a utilizar una técnica de educción de conocimiento denominada Análisis de Protocolos, la cual permite relevar el saber de los expertos (en este caso, el grupo de especialistas en nefrología pediátrica) dentro de un dominio específico. Esta técnica consiste en solicitar a los expertos que piensen en voz alta mientras realizan una tarea determinada, lo cual posibilita acceder a información sobre procedimientos y criterios utilizados en la resolución de problemas, incluso cuando estos no pueden ser verbalizados de manera consciente por el propio experto. De esta manera, se obtiene conocimiento privado, declarativo y procedimental [18].
El Análisis de Protocolos está compuesto de varias etapas: primero, se realiza la grabación del protocolo, registrando las reuniones en las que los expertos explicitan los criterios y razonamientos que tienen en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cuenta al llevar a cabo una sesión de hemodiálisis para un paciente. Luego, se procede a la transcripción del protocolo, seguida de una codificación, en la cual se identifican conceptos, características, valores, relaciones y operadores, se define la búsqueda de patrones y se detectan metacomentarios, incertidumbres y sinónimos. Finalmente, se avanza hacia la etapa de interpretación, donde se definen las reglas que integrarán el modelo de Lógica Difusa [19].

El Análisis de Protocolos puede requerir múltiples iteraciones. En este contexto, el proceso se lleva a cabo hasta fines de agosto, período en el cual se obtienen aproximadamente 90 reglas, las cuales son validadas por el equipo médico.

Una vez definidas las reglas difusas, se procede a desarrollar el modelo propiamente dicho. En esta etapa se especifican los conceptos que deben ser analizados, cada uno asociado a un conjunto de valores y a su respectiva función de pertenencia. Dichas funciones permiten determinar el grado en que un valor pertenece a un conjunto difuso. Si el resultado de la función es 0, no hay pertenencia, mientras que, si es 1, la pertenencia es total. Cabe aclarar que, en este caso se utilizan funciones de pertenencia triangulares, trapezoidales, gaussianas y sigmoidales [4].

El procesamiento de los datos de entrada del modelo se compone de tres etapas principales. La primera es la Fuzzificación, la cual consiste en transformar un valor numérico en un conjunto difuso, determinando su grado de pertenencia a un término lingüístico a partir de la función de pertenencia correspondiente. La segunda etapa es el Mecanismo de Inferencia, en donde se interpretan las reglas definidas para arribar a conclusiones sobre las variables de salida a partir de las variables de entrada, mediante el uso del Modus Ponens Generalizado, que transforma los grados de cumplimiento en grados de posibilidad [20]. Finalmente, la última etapa es la Desfuzzificación, en ella se realiza el proceso inverso a la Fuzzificación, donde se obtiene un valor numérico representativo de la salida del modelo a partir del conjunto difuso generado [21].

En lo que respecta al mecanismo de inferencia, en la implementación propuesta se utiliza el modelo difuso de Mamdani, uno de los más reconocidos en este tipo de sistemas expertos [20]. Su funcionamiento se basa en identificar todas las reglas aplicables, calcular el valor de pertenencia del consecuente de cada regla utilizando operadores de lógica difusa y, por último, combinar los resultados obtenidos para generar un valor final, empleando el método del centroide (o centro de masa) como criterio de desfuzzificación [4].

### 2.4. Interfaz de usuario del sistema

La solución propuesta consiste en una aplicación web que permite promocionar el producto, administrar el modelo de Lógica Difusa previamente definido (sección 2.3) y gestionar casos clínicos y sesiones de hemodiálisis.

En primer lugar, el ingeniero del conocimiento debe cargar los conceptos y valores que son analizados por el modelo de Lógica Difusa. Para ello, DialySmart cuenta con un módulo específico que permite visualizar los conceptos existentes y crear nuevos, cuando el usuario desee. Sin embargo, con el propósito de preservar la trazabilidad de las recomendaciones emitidas por el sistema experto, no es posible editar los conceptos ni sus valores una vez creados.

Una vez especificados los conceptos, el ingeniero puede incorporar nuevas reglas difusas al modelo. Este proceso se realiza de forma controlada, construyendo cada regla seleccionando, paso a paso, operadores, conceptos o valores, según corresponda. Esta metodología evita la necesidad de interpretar texto libre mediante modelos de IA, facilitando la coherencia entre los distintos elementos almacenados en la base de datos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Además, el sistema informático verifica si una nueva regla ya existe o si contradice alguna regla previamente registrada, lo que permite prevenir inconsistencias en el modelo de Lógica Difusa. También es posible visualizar el listado completo de reglas asociadas a la organización seleccionada, y activar o desactivar reglas según sea necesario. En caso de desactivarse, la regla deja de ser analizada en el modelo, aunque puede luego reactivarse. Para garantizar la trazabilidad del sistema, las reglas no pueden editarse una vez creadas, lo que permite conocer con precisión qué reglas fueron utilizadas en cada recomendación de caso clínico.

En cuanto a la gestión de casos clínicos, los médicos disponen de dos formas de búsqueda: un buscador general en la página principal, donde pueden ingresar el nombre o DNI del paciente, y una sección lateral que muestra los últimos cinco casos manipulados. Al crear un nuevo caso clínico, la plataforma permite registrar las sesiones de hemodiálisis asociadas. Si bien no es obligatorio generar estas sesiones, sólo la última creada puede ser editada. Esta restricción también responde a la necesidad de mantener la coherencia y trazabilidad en las recomendaciones generadas a lo largo del tiempo.

Por último, la plataforma incluye un módulo promocional destinado a captar nuevos clientes. Este módulo brinda información general sobre los beneficios del sistema y permite a los interesados solicitar más detalles mediante un formulario de contacto. Para esta funcionalidad, se utiliza una API definida como un "mecanismo que permite a dos componentes de software comunicarse entre sí mediante un conjunto de definiciones y protocolos" [22], que gestiona el envío automatizado de correos denominada "EmailJs" [23].

Hasta el momento, se encuentran operativos los módulos de gestión de casos clínicos y de sesiones de hemodiálisis, cuya interfaz se muestra en la Ilustración 1. Por otro lado, se encuentra en desarrollo el módulo de administración de reglas, conceptos y valores, cuyas vistas preliminares se presentan en las Ilustraciones 2 y 3, respectivamente.




*Ilustración 1: Gestión de caso clínico. Fuente: los autores.*

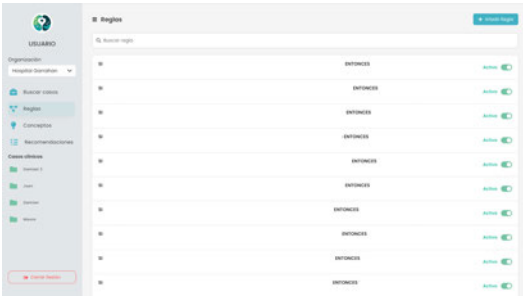


*Ilustración 2: Gestión de reglas. Fuente: los autores.*

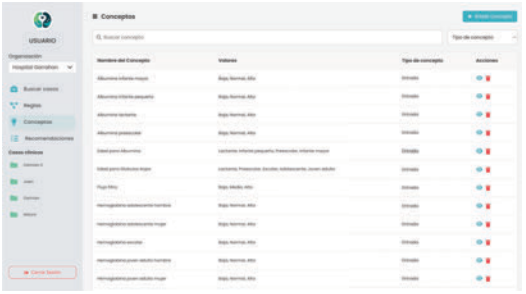


*Ilustración 3: Gestión de conceptos. Fuente: los autores.*

## 3. Conclusiones y Trabajos Futuros

DialySmart es una plataforma diseñada para acompañar a los médicos nefrólogos pediátricos en la toma de decisiones durante el tratamiento de hemodiálisis. La misma, brinda un soporte en la planificación y evolución de los tratamientos, ofreciendo a los especialistas una base estructurada que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



respalde sus decisiones y facilite la programación de las próximas sesiones de cada paciente.

El proceso realizado hasta el momento fue validado por reuniones periódicas con un grupo de profesionales del área. Como resultado, se evidencia que DialySmart representa un avance significativo en el apoyo a los especialistas, aportando valor agregado mediante la sistematización del conocimiento experto.

Si bien el desarrollo de dicho producto software aún se encuentra en proceso, el presente trabajo cumple con su objetivo principal al establecer las bases conceptuales, técnicas y funcionales del sistema informático, dejando asentada una base sólida sobre la cual continuar su implementación y validación.

Como líneas futuras de trabajo, se propone la incorporación de un módulo de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) que permita verificar la coherencia y consistencia de los nombres de los valores de un concepto ingresados por el Ingeniero del Conocimiento en el modelo de Lógica Difusa, evitando contradicciones y favoreciendo la calidad de las reglas generadas. Asimismo, se prevé continuar con las reuniones de validación junto al equipo médico hasta comienzos de noviembre, asegurando el correcto funcionamiento de la plataforma.

**Referencias**

[1] Di Marco, J., Mosquera, C., “Implementando el potencial transformador de la Inteligencia Artificial en el ámbito de la salud”, Hospital Italiano. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/45bQaBI). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[2] Suazo Galdames, I., “Inteligencia Artificial en medicina humana”, International Journal of Medical and Surgical Sciences, 2023, vol. 10(1), pp. 1–4. Disponible en: (https://bit.ly/45ohuho). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[3] P. Pytel, “Inteligencia Artificial & Sistemas Inteligentes”, Cátedra Inteligencia Artificial UTN FRBA, 2020. Disponible en: (https://cutt.ly/lbjKLJO). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[4] P. Pytel, “Razonamiento Aproximado y Lógica Difusa”, Cátedra Inteligencia Artificial UTN FRBA, 2020. Disponible en: (http://bit.ly/46ALKH4). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[5] GEMIS.BA, “Proyectos”. [En línea]. Disponible en: (https://bit.ly/474wBxG). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[6] Google Scholar, 2025. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/45d1YUg). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[7] Hasan Al-subhi, S., Román Rubio, P. A., Piñero, P. Y., Sadeq S Mahdi, G., & Leyva-Vázquez, M., “Sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en mapas cognitivos neutrosóficos para instituciones que atienden a embarazos con alto riesgo por enfermedades cardiovasculares”, Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 2019, vol.13(4), pp. 16-29. Disponible en: (http://bit.ly/4md2poC). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[8] Herrera, A. R. V., Castro, L. A. C., Navarrete, L. F. J., & Paredes, M. A. T., “Sistema de recomendaciones con el uso de la Inteligencia Artificial en la Nefrología”, Neutrosophic Computing and Machine Learning. ISSN 2574-1101, 2025, vol. 36, pp. 237-245. Disponible en: (http://bit.ly/415GmZ1). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[9] Paoli, J. F., Chatterjee, P., Pollo-Cattaneo, M. F., “A Machine Learning-Based Clinical Decision Support System for Mental Health Risk Profiling”, WAAI 2024. Disponible en: (http://bit.ly/4mhTXVH). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[10] Di Felice, M., Lamas, C., Maleh, F., Sabelli, A., Norscini, J., Ramón, H. D., ... & Pollo Cattaneo, M. F., “Aplicación de técnicas de inteligencia artificial en la prevención de problemas de salud mental”, XXV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 2023. Disponible en: (http://bit.ly/3UeGBNm). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[11] Hospital de Pediatría Garrahan, “Historia”. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/3H3UF9C). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[12] NKF Patient Education Team, “Hemodialysis”, 26 de abril 2024. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/4l5ZLjo). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[13] DialySmart Organization, “Documentación del proyecto”. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/3HlmBWt). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[14] Node.js Organization, “Acerca de Node.js”. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/40HVnQo). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[15] Python Organization, “Applications for Python”. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/46Bg6t4). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[16] The Wall Street Journal, “A Five-Stage Approach to Predictive Project Analytics”. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/458mh5i). [Accedido: 28- agosto- 2025].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[17] Lucidchart Organization, "Diagrama de Gantt: Qué es y para qué sirve". [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/4oejtfx). [Accedido: 28- agosto- 2025].
[18] Casadesús, R., & De Castro, I., "De la lógica difusa a la inteligencia artificial", Hacia un futuro transhumano. Ars Brevis, 2018, vol. 24, pp. 47-82. Disponible en: (http://bit.ly/4l9jezW). [Accedido: 28- agosto- 2025].
[19] C. Vegega, "IA - Análisis de Protocolos", Cátedra Inteligencia Artificial UTN FRBA, 2020. Disponible en: (http://bit.ly/45g2Fwk). [Accedido: 28- agosto- 2025].
[20] Sanahuja, S., "Sistemas de control con lógica difusa: métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK)", Univesitat Jaume, 2017. Disponible en: (http://bit.ly/4fjb5rf). [Accedido: 28- agosto- 2025].
[21] Hellendoorn, H., "The generalized modus ponens considered as a fuzzy relation", Fuzzy Sets and Systems, 1992, vol. 46, pp. 29-48. Disponible en: (http://bit.ly/4mqAlOF). [Accedido: 28- agosto- 2025].
[22] AWS, "¿Qué es una interfaz de programación de aplicaciones (API)?". [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/4m9bsqX). [Accedido: 28- agosto- 2025].
[23] EmailJs, "How does it work?". [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/3HiUA1F). [Accedido: 28- agosto- 2025].

**Datos de Contacto:**

*Gluk, Damián Enrique. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.* dgluk@frba.utn.edu.ar.
*Goldfarb, Matías. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.* mgoldfarb@frba.utn.edu.ar.
*Goldfarb, Nicolás. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.* ngoldfarb@frba.utn.edu.ar.
*Lamas, Chabela María. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.* clamas@frba.utn.edu.ar.
*Trupkin, Ilan Martín. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.* itrupkin@frba.utn.edu.ar.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# *GERAS:* Plataforma de autogestión del retiro y educación financiera asistido por IA

**Aguilera Montiel, Agustín - Martinelli, Iara - Moyano Fontana, Maximiliano - Paoli, Juan Francisco - Teplitz, Damián**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*En Argentina, el sistema previsional enfrenta una crisis debido a factores demográficos y económicos que dificultan el acceso a un retiro digno. A su vez, la población presenta bajos niveles de educación financiera que dificultan la planificación individual del mismo. Por ello, se hace necesario desarrollar herramientas que faciliten la autogestión y educación en planificación financiera. De esta manera nace Geras, una plataforma web que contempla simulación de planes de retiro, seguimiento y educación mediante un asistente conversacional, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones informadas sobre el retiro y permitir que los usuarios comprendan las consecuencias de sus elecciones financieras en el largo plazo. Aún con sus limitaciones, Geras muestra resultados prometedores.*

**Palabras Clave**

Finanzas personales, chatbot, jubilación, plan de retiro, ahorro, plataforma web, activos financieros, simulación de inversiones.

## Introducción

La jubilación podría convertirse en un privilegio reservado para unos pocos. Para millones de personas, retirarse del mercado laboral bajo las condiciones actuales dejará de ser una opción viable. Tanto el sistema previsional argentino [1] como el de países desarrollados, entre ellos los pertenecientes a la Unión Europea [2], enfrentan un futuro incierto con un alto riesgo de insolvencia.

Desde hace varios años, diversos estudios advierten sobre la crisis estructural que atraviesa el sistema jubilatorio público en Argentina [1]. Esta problemática no es exclusiva del país, ya que globalmente, debido a factores como la baja natalidad y el aumento sostenido de la esperanza de vida, se vuelve insostenible mantener los sistemas jubilatorios estatales en su forma actual. Esto ocurre porque dichos sistemas dependen directamente de que las generaciones económicamente activas financien con sus aportes a los jubilados.

Frente a esta situación crítica, han surgido diversas alternativas, aunque ninguna de ellas puede considerarse una solución perfecta. La opción más segura parece ser el ahorro personal destinado específicamente al retiro [3]. Este método permite independencia frente a sistemas externos y, con una adecuada planificación, brinda la posibilidad de prever con precisión los recursos disponibles en el futuro. Sin embargo, esta estrategia demanda disciplina financiera y conocimientos específicos que el trabajador argentino promedio no posee [3].

El sistema financiero de la Argentina se caracteriza por un bajo nivel de desarrollo y una oferta limitada de instrumentos de ahorro e inversión de largo plazo: la inestabilidad macroeconómica (inflación crónica y ciclos de crisis), la desconfianza histórica, la concentración bancaria y las cambiantes regulaciones han desincentivando la inversión y favorecido conductas defensivas (como los llamados “dólares bajo el colchón”) [4]. En este contexto, la persona promedio enfrenta altas barreras cognitivas y operativas para elegir vehículos adecuados, diversificar, cubrirse de la inflación y sostener aportes periódicos a lo largo del tiempo.

Para abordar este desafío, el presente trabajo propone un sistema de planificación del retiro denominado Geras, en honor al dios griego de la vejez. Este sistema tiene como objetivo asistir al trabajador en la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



planificación integral de su jubilación, el manejo ordenado de sus inversiones a largo plazo y el monitoreo constante de su progreso financiero. De esta manera, Geras busca acercar al individuo al objetivo final de lograr un retiro digno.

**Alcance**

Para alcanzar los objetivos propuestos en la introducción, la primera tarea a realizar fue delimitar correctamente el alcance del sistema. De esta forma se pudieron enfocar los esfuerzos en atacar el principal problema identificado.

Para esto se llevó a cabo una encuesta a 229 personas con el objetivo de obtener tanto la población objetivo como sus principales problemáticas. De los resultados obtenidos, se destaca lo siguiente:

Por un lado, gran parte de la población encuestada expresó preocupación por su situación económica al momento de jubilarse, notando un aumento en la proporción de los "muy preocupados" con la edad.

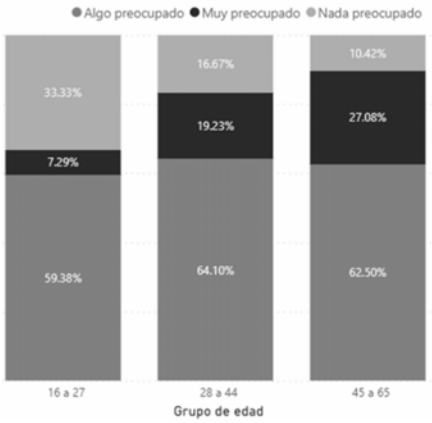



**Figura 1.** Porcentaje de respuestas por grupo de edad a la pregunta "¿Estás preocupado por tu situación económica al momento de jubilarte?"

Por otro lado, se evidencia la falta de información y educación al respecto, ya que las tres respuestas más frecuentes a la pregunta "¿Qué aspectos te generan más incertidumbre o miedo al pensar en realizar un plan de retiro?" fueron "Falta de información clara" (40,3%), "No entender cómo funcionan las inversiones" (35,2%) y "No saber cuánto necesito" (30%).

Por último, para complementar estas problemáticas y justificar la necesidad de una herramienta para la planificación y seguimiento del retiro, se logra ver que a lo largo de todos los grupos de edad hay interés en una plataforma que ayude a planificar el retiro.

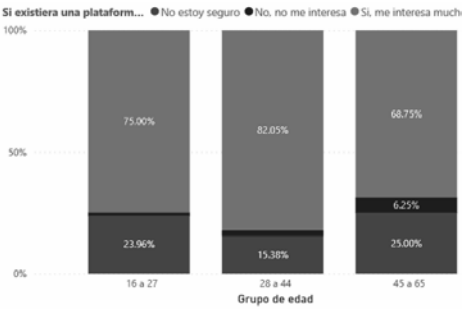



**Figura 2.** Porcentaje de respuestas por grupo de edad a la pregunta "Si existiera una plataforma que te ayude a planificar tu retiro de forma simple y guiada, ¿la usarías?"

Teniendo en cuenta este análisis, se observó por un lado que existen dos grupos potenciales como segmento objetivo: el grupo de 28 a 44 años, dado el amplio márgen de tiempo que presenta para planificar su retiro y el potencial de invertir desde temprano, y el grupo de 45 a 65 años, que además de poseer un gran interés por la plataforma, se trata de un segmento con necesidades más inmediatas y, por lo tanto, mayor disposición a adoptar soluciones. Por otro lado se observó que la plataforma tiene que estar enfocada en la planificación detallada y en la educación de los usuarios, permitiéndoles observar cómo las decisiones que toman hoy en su planificación cambian su futuro en el largo plazo.

En conclusión, se definió que la plataforma Geras se enfocará en asistir en la planificación y educar sobre conceptos financieros básicos, sin asesorar sobre inversiones específicas. De esta manera busca facilitar un retiro digno a personas de un variado rango etario, desde inicios de la vida profesional hasta alcanzar la vejez.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Metodología de desarrollo**

Para llevar a cabo el desarrollo de la plataforma, se decidió utilizar la metodología Scrum. Primero, se definió el uso de una metodología del tipo agile [5], ya que por ser un tipo de sistema centrado en la experiencia del usuario se consideró de suma importancia el feedback continuo y la capacidad de reordenar las prioridades en caso de necesitarlo. Una vez hecho esto, se eligió Scrum [6] por ser la más utilizada y con mayor cantidad de resultados positivos documentados. Se decidió utilizar sprints de 2 semanas de duración.

El equipo de investigación y desarrollo de la plataforma está conformado por 5 integrantes, los cuales tomaron uno o más de los siguientes roles definidos, tanto técnicos como propios de la metodología utilizada:

- SCRUM Master
- Product Owner
- Desarrollador Fullstack
- Project Manager
- Analista QA
- Analista Funcional
- Analista DevOps

Los miembros del equipo trabajan en colaboración con el resto a la vez que se encuentran a cargo de sus responsabilidades específicas.

**Definiciones de diseño**

El sistema permite al usuario definir los parámetros iniciales de una inversión a largo plazo, incluyendo el monto inicial, el aporte periódico y el rendimiento esperado. A medida que el usuario modifica dichos parámetros, puede visualizar de forma dinámica la proyección del capital acumulado mediante un gráfico interactivo.

También puede alternar entre distintos modos de planificación (por duración, por monto objetivo o por renta mensual deseada), lo que habilita la adaptación de la interfaz y de los cálculos a cada enfoque.

Además, el sistema ofrece la posibilidad de comparar distintos escenarios de inversión, permitiendo configurar una alternativa con otras tasas o aportes y visualizar ambas curvas de forma simultánea.

Finalmente, incorpora un asistente conversacional del tipo chatbot que guía al usuario en el proceso de toma de decisiones, brindando explicaciones breves de los conceptos financieros implicados y formulando preguntas orientadoras para facilitar la definición de los parámetros críticos. De esta forma se cubre el componente educativo que se consideró al definir el alcance del problema que viene a resolver la plataforma.

Una vez definido el plan, el usuario puede registrar periódicamente los aportes realizados y consultar la evolución real de su inversión, comparando el progreso alcanzado con respecto a la proyección simulada. Para ello, el sistema dispone de un panel de seguimiento, que muestra la brecha entre lo planificado y lo efectivamente acumulado e indica si el usuario se encuentra por encima o por debajo del desempeño esperado.

Debido a lo amplio del usuario objetivo seleccionado y los objetivos del sistema, a la hora de diseñar el sistema se tuvieron en cuenta numerosos aspectos.

Por un lado, al tener como usuarios a personas de un rango etario tan amplio, se decidió que la interfaz debería ser por medio de una página web. De esta manera, tanto el adulto joven que puede utilizar cómodamente todo tipo de tecnología, como el adulto mayor que no se encuentra tan adaptado al uso de otras plataformas que no sean una computadora de escritorio, van a poder utilizar cómodamente la aplicación.

Es también por el mismo motivo mencionado que se prioriza el diseño de una interfaz simple, directa y explicativa, con consejos y mensajes al usuario

**Diseño de la interfaz de usuario**

La interfaz de usuario se diseñó en tres etapas: definición de estilos visuales, elaboración de mockups y construcción de flujos de usuario. Todo el proceso se llevó a

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cabo mediante prototipado en Figma [7], lo que permitió anticipar la experiencia del usuario y detectar oportunidades de mejora previo a su implementación.

En primer lugar, se definieron los estilos visuales y elementos principales de la interfaz, incluyendo la paleta de colores, tipografía y logotipo de la plataforma, así como el estilo de los botones, barra lateral, menú de navegación y formularios.

Con estos criterios definidos, se diseñaron los mockups de las pantallas principales. Entre ellas se incluyen la página de inicio, inicio de sesión, creación de cuenta, carga inicial de datos, panel principal, creación y seguimiento de planes.

Finalmente, se desarrollaron los flujos de usuario con el objetivo de modelar el recorrido esperado en cada interacción con el sistema, incluyendo inicio de sesión y registro, carga inicial de datos, creación y edición de planes de retiro, seguimiento de activos, configuración de perfil y recordatorios, y cancelación de cuenta.

## Diseño de la aplicación

El diagrama general de la aplicación cumple con el siguiente formato; en el centro del diagrama está la aplicación que interactúa con los usuarios (ahorristas), el autenticador externo, el proveedor de información de mercado y el administrador.




**Figura 3.** Diagrama de contexto del sistema

El detalle del bloque Geras incluye el sistema de chatbot asistente al usuario y la Base de Datos.

A nivel dominio de la aplicación, el diagrama de clases UML [8] es el siguiente, incluyendo los atributos y métodos más importantes:

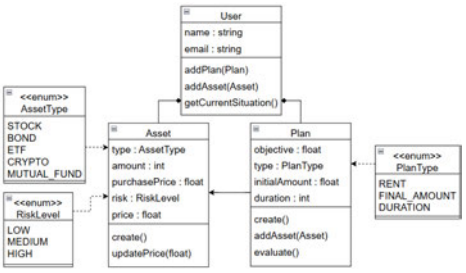



**Figura 4.** Diagrama de clases UML del principal módulo del sistema

## Diseño del chatbot

El chatbot tiene como objetivo asistir a usuarios sin experiencia en todo el proceso de planificación de su retiro, guiándolos paso a paso mediante preguntas simples, explicaciones claras y ejemplos concretos que facilitan la comprensión de conceptos como tipo de plan, plazos, aportes o renta estimada; además, incorpora un enfoque educativo que permite al usuario adquirir nociones básicas de planificación financiera mientras construye su propio plan. Está diseñado para ayudar al usuario a entender cada una de las decisiones que debe tomar, comparar alternativas posibles y analizar las simulaciones resultantes, todo dentro del ciclo de vida del plan, tanto al momento de crearlo por primera vez como al revisarlo o modificarlo más adelante.

Para lograr este objetivo, se diseñó el chatbot de manera que funcionara a través de la interacción de diversos agentes con diferentes objetivos: dar explicaciones sobre el dominio, interpretar la pregunta del usuario, iniciar/terminar la conversación, entre otros. Además, se utilizó el mecanismo de generación aumentada por recuperación (RAG, por sus siglas en inglés Retrieval Augmented Generation) con el objetivo de restringir las respuestas del chatbot al conocimiento que se le instruyó utilizar. De esta manera el chatbot diseñado buscó garantizar trazabilidad y seguridad.

## Implementación

La implementación de la plataforma fue realizada utilizando el siguiente stack tecnológico:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- NextJS para el frontend web [9]: Se eligió por su App Router con React Server/Client Components, que permiten mover el data fetching y el render al servidor, reducir JavaScript enviado al cliente y mejorar tiempos de carga. Además aporta streaming y cacheo por segmento de ruta, manteniendo secretos y lógica sensibles en el servidor.
- NestJS para el backend web [10]: Se priorizó una arquitectura modular con módulos, controladores y proveedores y un contenedor de inyección de dependencias, lo que mejora la cohesión, testeabilidad y mantenibilidad.
- SQLite para la base de datos [11]: Para etapas iniciales, su motor SQL autocontenido, "serverless" y transaccional evita la operación de un servidor y aporta portabilidad por archivo. Es una elección pragmática para prototipos y despliegues simples, con ruta de migración a un motor cliente/servidor si la escritura concurre más.
- Prisma como ORM [12]: Proporciona un cliente fuertemente tipado en TypeScript generado desde el schema, reduciendo errores en compilación y mejorando la DX. Prisma Migrate convierte cambios del modelo en migraciones SQL versionadas y reproducibles. Mantiene multi-motor (SQLite; PostgreSQL, MySQL, SQL Server, MongoDB, entre otros), facilitando evolucionar sin reescribir la capa de acceso.
- Python con librería de LangGraph y LangChain para el chatbot [13]: LangChain como framework base, ya que facilita la implementación de pipelines RAG y multiagentes con componentes modulares.
  LangGraph se incorpora como mecanismo de orquestación, habilitando un grafo de decisiones controladas, manteniendo memoria de la conversación, brindando trazabilidad del flujo y mitigando alucinaciones.
  Elegir Python facilita integrar bibliotecas analíticas/ML y experimentar rápidamente.

El stack presentado prioriza eficiencia y mantenibilidad: Next.js reduce JS en cliente; NestJS ordena el backend haciéndolo más mantenible; SQLite minimiza la operación inicial; Prisma aporta tipos end-to-end y migraciones; y LangChain/LangGraph en Python habilita un asistente multiagente con RAG trazable. Estas decisiones permiten iterar rápido hoy y evolucionar sin reescrituras estructurales.

**Resultados**

En la versión actual de la plataforma, se encuentran implementadas las funcionalidades de registro e inicio de sesión, acceso al panel principal, creación y gestión de planes de retiro, seguimiento de activos y configuración de perfil.

La aplicación inicia con una página de bienvenida (Figura 5) que guía al usuario hacia el inicio de sesión o registro de su nueva cuenta (Figura 6).




**Figura 5.** Página principal de Geras

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**Figura 6.** Pantalla de inicio de sesión y registro

Una vez completado el registro del usuario, el mismo accede al panel principal donde puede visualizar sus planes activos, progreso de los mismos y ahorro total acumulado.

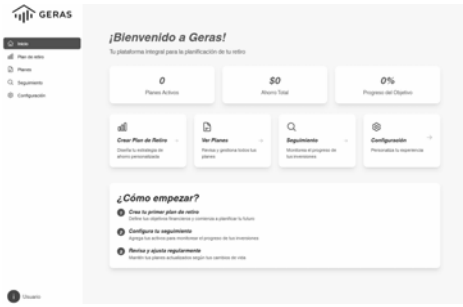



**Figura 7.** Panel principal

La sección Plan de retiro permite la creación de planes siguiendo las definiciones de diseño mencionadas previamente.

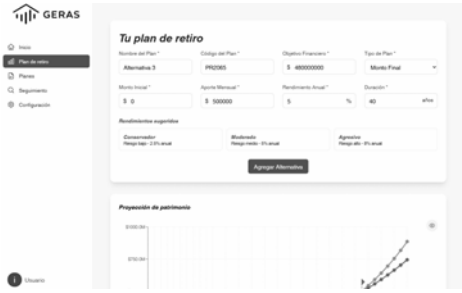



**Figura 8.** Interfaz de creación de plan mostrando formulario de configuración

La funcionalidad de comparación de alternativas permite visualizar diferentes escenarios en una gráfica comparativa con indicadores que señalan si el plan alcanzó su objetivo (Figura 9), y en una tabla que describe información financiera de cada uno de ellos (Figura 10).

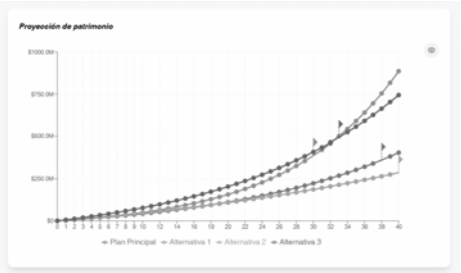



**Figura 9.** Proyección de patrimonio presentando múltiples alternativas

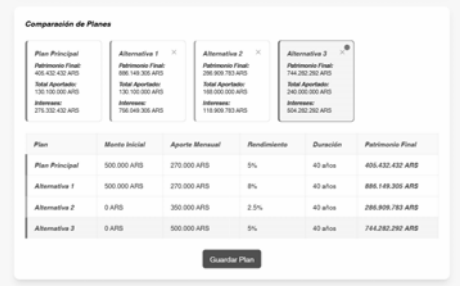



**Figura 10.** Comparación detallada de planes

La sección Planes lista los planes de retiro creados por el usuario y permite su edición.




**Figura 11.** Listado de planes creados

La sección Seguimiento permite al usuario registrar los activos que ha adquirido y asignarlos a los planes creados previamente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**Figura 12.** Listado de activos del usuario




**Figura 13.** Formulario de carga de activo

Finalmente, la sección Configuración permite modificar datos personales y preferencias del usuario.

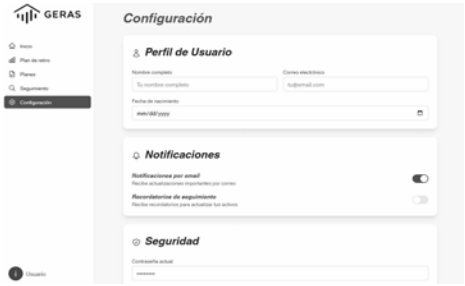



**Figura 14.** Pantalla de configuración de perfil

## Trabajos Relacionados

Numerosos trabajos ya mencionados [1][2][3] demuestran la incertidumbre que atraviesa la sostenibilidad de los sistemas de jubilación, tanto en Argentina cómo a nivel mundial, y, por lo tanto, la creciente importancia de la planificación individual y el ahorro de largo plazo.

Ante este escenario, en los últimos años han surgido múltiples plataformas y simuladores que buscan dar solución a este problema, sin embargo, muchas de ellas se enfocan en mercados extranjeros [14] o presentan funcionalidades escasas, limitándose a mostrar datos y realizar cálculos [15], sin acompañar el proceso de decisión y mucho menos educar al usuario en el proceso.

De esta forma, Geras se diferencia de las soluciones existentes al posicionarse como una plataforma centrada en el contexto argentino que integra la planificación, simulación, seguimiento y educación.

## Conclusión y Trabajos Futuros

El presente trabajo representa un avance esperanzador en el desarrollo de una plataforma orientada a la planificación del retiro, enfocada principalmente en la autogestión y educación de sus usuarios.

Sin embargo, se han identificado algunas limitaciones que restringen el alcance actual del sistema: Por un lado, el flujo de decisiones es lineal, asume buena disposición del usuario y no contempla usuarios desinteresados o que abandonen el proceso. La sección educativa, por otra parte, se encuentra limitada a explicaciones breves y no se adapta completamente al perfil cognitivo del usuario. Finalmente, el sistema no contempla simulaciones de riesgo ni ofrece recomendaciones de carteras ni inversiones específicas, sino que informa de las opciones disponibles acordes al plan.

Como trabajo futuro se prevé ampliar el alcance del simulador a escenarios colectivos, como la planificación en pareja o en familia, e incorporar integraciones con brokers y plataformas financieras, permitiendo que el usuario pase de la proyección a la ejecución sin salir del entorno. Asimismo, se buscará sumar información de mercado en tiempo real, notificaciones relevantes (por ejemplo, cambios de tasas o noticias económicas) y una sección específica para profundizar conceptos financieros, de modo que el proceso no sólo sea de decisión sino también de aprendizaje continuo y contextualizado.

**Agradecimientos**

Agradecemos a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por el acompañamiento brindado a lo largo del desarrollo de nuestro trabajo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Su experiencia y visión fueron fundamentales para enriquecer nuestra propuesta y formación profesional.

**Referencias**

[1] Ignacio Apella (2022) *El sistema previsional argentino,sus logros y desafíos* (Documento PDF)
Informe Banco Mundial
[2] Ficha temática del semestre europeo (2017) *Adecuación y sostenibilidad de las pensiones* (Documento PDF)
Informe UE
[3] Hugo Bertín, Rafael Rofman (2021) *La "otra" política previsional. El ahorro previsional voluntario y los seguros de retiro.* (Publicación WEB)
Informe CIPPEC
[4] Belén Escobar (2023) *El mercado de capitales en Argentina, uno de los más chicos de la región* (Publicación WEB)
Artículo Bloomberg
[5] Omonije, Ajibola. (2024). Agile Methodology: A Comprehensive Impact on Modern Business Operations. International Journal of Science and Research (IJSR). 13. 10.21275/SR24130104148.
Paper agile
[6] Hema, Valpadasu & Thota, Sravanthi & Kumar, Sripada & Padmaja, Ch & Krishna, C Bala & Sharma, Kommabatla. (2020). Scrum: An Effective Software Development Agile Tool. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 981. 022060. 10.1088/1757-899X/981/2/022060.
Paper Scrum
[7] Figma. (2025). *Figma*: The collaborative interface design tool.
Figma
[8] GeeksforGeeks. (2025) *Class Diagram | Unified Modeling Language (UML)*
Diagramas de clases UML
[9] Vercel (2025). *NextJS React Framework* (15.5.0) [Framework]
NextJS
[10] MIT Licensed Open Source Project (2025) *NestJS - Node.js framework for building efficient, reliable and scalable server-side applications* (11.1.6) [Framework]
NestJS
[11] Hipp, R. D. (2025). *SQLite*.(3.50.4) [Motor de base de datos]
SQLite
[12] Prisma (2025). *Prisma - Object Relational Mapping* (6.14.0)
Prisma ORM
[13] Chase, H. (2022). LangChain
LangChain
[14] Acorns Grow Incorporated (2025) Acorns. [Aplicación Web]
Acorns
[15] Quaestus Wealth Management (2025) *En que invierto* [Aplicación web]
En Que Invierto

**Datos de contacto**

*Agustín Aguilera Montiel. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*aaguileramontiel@frba.utn.edu.ar*

*Iara Martinelli. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*imartinelli@frba.utn.edu.ar*

*Maximiliano Moyano Fontana. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*mmoyanofontana@frba.utn.edu.ar*

*Juan Francisco Paoli. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*jpaoli@frba.utn.edu.ar*

*Damián Teplitz. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*dteplitz@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Parametrizando un Sistema Informático para Obra Social Universitaria con un Motor de Reglas

**Iván Brocas (autor), Alejandro Sánchez (tutor), Carlos H. Salgado (tutor)**
***Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemática y Naturales***

**Abstract**

*Esta publicación describe la parametrización del sistema informático de una obra social universitaria, en donde se separan las reglas de negocio del código fuente utilizando el motor de reglas OpenL Tablets. El objetivo es lograr un sistema más mantenible que pueda responder a modificaciones en las reglamentaciones que rigen su funcionamiento, pudiendo aplicar cambios a las reglas sin necesidad de cambiar el código fuente y volver a desplegarlo. En un contexto socioeconómico donde la única constante es el cambio, esto facilitará conservar el valor que el sistema brinda a la organización. Se hace foco en las reglas que rigen el cálculo de las cuotas de los afiliados, por ser éstas complejas en la organización estudiada y susceptibles a cambios en la realidad socioeconómica del país. La publicación reporta el trabajo realizado durante un proyecto integrador para la finalización de la Ingeniería en Informática de la UNSL.*

**Palabras Clave**

Obra social universitaria, motor de reglas, sistema informático, OpenL Tablets

## 1. Introducción

Este proyecto integrador final se encuentra enmarcado en el contexto del desarrollo de un Sistema Informático (SI) para Obras Sociales Universitarias (OSUs) caracterizado por la centricidad en el afiliado y la agilidad. Este trabajo se centra en la segunda, procurando reducir costos y tiempos de adaptación del sistema a cambios a partir de la introducción de un motor de reglas que permita separar del código fuente las reglas del negocio tendientes a cambiar.

El SI de una OSU debe mantenerse “vivo”. El valor que provee su funcionamiento disminuye conforme pierde sintonía con los cambios que tanto la organización como su contexto sufren. Dado que el cambio es la norma, no la excepción, la falta sistemática de evolución de un SI–OSU representa su agonía y eventual muerte, la cual es generalmente acompañada de numerosos perjuicios para la OSU.

Los funcionarios, al encontrarse con un SI desactualizado, suelen responder por medio de trabajo manual. Conforme la brecha entre las reglas de negocio, dictadas por las reglamentaciones, y la implementación de las mismas en el SI crece, también lo hace la porción manual del trabajo. Esto resulta en más trabajo para el personal y trámites más lentos, lo que causa mayor descontento de los afiliados. De la misma forma, el decremento en la porción del trabajo realizada por el sistema se traduce en menos información para el respaldo de decisiones.

La Dirección de Obra Social para el Personal Universitario (DOSPU) de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) no escapa a este problema. Su presidencia, el Rectorado, la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales, y su Departamento de Informática se encuentran colaborando para reemplazar su antiguo SI, que ha fallado en evolucionar. El nuevo sistema, SI-DOSPU, está siendo desarrollado usando prácticas de las metodologías ágiles: scrum, product discovery, behaviour driven development, test driven development, e integración continua. Las tecnologías de implementación incluyen el lenguaje de programación Java, el framework Spring [1] y la base de datos PostgreSQL [2] para el backend, y Angular [3] para el frontend.

En un trabajo previo, documentado en [4], el foco estuvo sobre implementar el expendio de órdenes procurando la centricidad en el paciente. Este proyecto integrador aborda la agilidad requerida por el SI–OSU, entendida como la facilidad de adaptación a cambios en el contexto socio-económico y en las reglamentaciones que regulan su funcionamiento.

El objetivo general es parametrizar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



SI–DOSPU, introduciendo un mecanismo que permita separar las reglas de negocio de la organización, de su SI. Se detectó que la reglamentación para el cálculo de la cuota de afiliados es compleja y muy susceptible a cambios en la realidad socio-económica del país. Esto se debe a que la obra social busca equidad en la distribución de la carga de los aportes, lo que lleva a plantear diversos tipos de afiliación y fórmulas de cálculo de cuota. Estas características convierten a dicha funcionalidad en candidata ideal para enfocar el esfuerzo.

El mecanismo típico para lograr esta separación es un motor de reglas. Este permite la ejecución de reglas de negocio, especificadas fuera del código del sistema, utilizando un lenguaje o formato específico.

Del objetivo general se desprenden cuatro objetivos específicos:

1. Conocer las reglas del negocio correspondientes al cálculo de la cuota de afiliación a partir de las reglamentaciones pertinentes y su materialización en el código fuente del SI–DOSPU.
2. Expresar dichas reglas en un lenguaje que resulte entendible para el personal de la Obra Social Universitaria.
3. Permitir la gestión de las especificaciones obtenidas de forma independiente al SI.
4. Reducir el esfuerzo requerido para materializar cambios en las reglas del negocio, sin requerir modificar el código fuente del sistema, ni realizar el despliegue de una nueva versión.

El logro de estos objetivos permitirá que cambios en las reglas de negocio puedan materializarse a través de la edición de especificaciones externas, permitiendo la reducción en la incidencia a problemas mencionados anteriormente.

Si bien no se encontró un trabajo similar para OSUs, sí se encontraron sistemas informáticos adoptando motores de reglas para facilitar su adaptación a cambios en reglamentaciones. Por ejemplo, en [5] se reporta un uso similar de un Sistema de Gestión de Reglas de Negocio (Bussiness Rule Management Service, BRMS) [6] para el cálculo de los precios de las distintas pólizas de una aseguradora, siendo los principales objetivos buscados la mantenibilidad y la adaptabilidad a cambios en las regulaciones. En [7], en el contexto nacional, se describe el uso de un BRMS en aplicaciones desarrolladas para SENASA con el objetivo de lograr que tengan mayor flexibilidad frente a cambios en las reglas de negocio que rigen los procesos que soportan.

El resto de este trabajo se encuentra dividido en: el apartado 2 explica la metodología utilizada; el apartado 3 enumera los motores de reglas considerados y el razonamiento detrás de la selección realizada dentro de las opciones; el apartado 4 trata las distintas categorías de afiliaciones de la OSU y el cálculo de sus cuotas; el apartado 5 explica cómo se realizó la integración del motor de reglas seleccionado con el SI–OSU; el apartado 6 expone los resultados obtenidos en el trabajo; el apartado 7 muestra las conclusiones, limitaciones y posibles continuaciones de este trabajo.

## 2. Metodología

El enfoque adoptado combina pasos de metodologías de desarrollo de software y de metodologías de investigación científica, poniendo en juego conocimiento y habilidades adquiridos en el cursado de la Ingeniería en Informática de la UNSL en cada tarea ejecutada.

Se partió del estudio de las ordenanzas y documentos detallando aspectos relevantes de DOSPU y las fórmulas utilizadas para el cálculo de las cuotas de sus afiliados, que fue complementada con reuniones con miembros del equipo de desarrollo SI–DOSPU para despejar dudas y/o establecer oportunidades de mejora. De igual forma, se indagó sobre las tecnologías utilizadas en el sistema y la materialización de las reglas de negocio implementadas en el mismo.

Se extendieron los casos de prueba ya

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



utilizados en el ciclo de integración continua de SI–DOSPU. Estos nuevos casos se definieron en base a la información obtenida, utilizando una combinación de Análisis del Valor Límite (AVL) [8] y casos Ad Hoc para capturar el comportamiento esperado en un nivel de granularidad más fina y poder comprobarlo en cada paso ejecutado.

Adicionalmente, durante el estudio del código que calcula las cuotas, se detectaron oportunidades de mejora. En consecuencia, como paso intermedio, para mejorar la calidad del código y tener un mejor punto de partida para la posterior comparación con el motor de reglas, se realizó un refactorizado de la parte del sistema correspondiente. Esta refactorización consistió principalmente en el uso de patrones de programación funcional para el manejo de errores, haciendo uso de mónadas.

Por otro lado, se relevaron motores de reglas que se ajusten a las necesidades de expresividad requeridas para la materialización de las reglas de negocio de una OSU, y a las tecnologías de implementación del SI–DOSPU. Partiendo de este relevamiento, se realizó la selección del motor que se consideró más apropiado.

Luego se incorporó el motor de reglas en el SI–DOSPU. Seguidamente, se realizó la especificación de las reglas de negocio utilizando el formato requerido por el motor de reglas.

Esta nueva versión del cálculo de las cuotas convive con la mejorada y con la original. Esto se consiguió definiéndolas como implementaciones de una única interfaz Java y múltiples perfiles de Spring. Esto facilitó el análisis de resultados obtenidos y verificaciones a partir de casos de prueba.

Para la comparación entre las implementaciones se utilizó como métrica la cantidad de líneas de código. En el caso de la implementación con el motor de reglas se utilizan en su lugar las filas de las tablas en las que se especifican las reglas.

## 3. Motores de reglas

La idea subyacente de los motores de reglas es externalizar la lógica del negocio. Este puede ser visto como un intérprete sofisticado de sentencias `if-then` (si-entonces). Estas sentencias, llamadas reglas, están compuestas por: una condición, que evalúa a verdadero o falso, y una acción, que es ejecutada en el caso de que la condición evalúe a verdadero [9]. Asimismo, se suele hacer uso de un BRMS, que consiste en un motor de reglas junto con herramientas para la gestión de las reglas de negocio.

Dentro de los existentes, se realizó un relevamiento de algunos de los más utilizados en el entorno de desarrollo de Java, haciendo énfasis en los siguientes aspectos: (a) **Expresividad:** ¿Con qué lenguaje o lenguajes permite el motor la expresión de las reglas? (b) **Gestión de las reglas:** ¿Qué herramientas o mecanismos brinda para tareas de la gestión de las reglas, como la creación, modificación, eliminación, evaluación y versionado? (c) **Integración:** ¿Cómo puede ser el motor integrado con el sistema actual? ¿Cómo se realiza el intercambio de información entre el motor de reglas y el sistema? ¿Cuenta el motor con documentación relevante y actualizada? (d) **Mantenimiento:** ¿Cuenta el proyecto con mantenedores activos? ¿Existen bugs o incompatibilidades que puedan afectar a este trabajo?

Los motores considerados fueron Rulebook [10], Easy Rules [11], JESS [12], Drools [13] y OpenL Tablets [14]. Como parte de su estudio se realizaron ejemplos, los cuales pueden encontrarse en un repositorio de Github [15].

Teniendo en cuenta el objetivo 3, se descarta Rulebook como opción viable, dado que las reglas no deben estar dentro del código Java.

JESS, a diferencia de las demás opciones, no es de código abierto, y por lo tanto no es tenido en cuenta.

Por otra parte, Easy Rules permite separar las reglas y el código. Sin embargo, en el ejemplo realizado, las reglas resultaban

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



incluso más extensas que el código Java base, volviendo la opción poco atractiva.

Esto deja a Drools y OpenL Tablets como opciones de interés para este trabajo, con lo cual ahora se presenta una comparación más detallada entre ambos. La expresividad (punto (a)) que ambos proveen para las reglas resulta comparable. Dicho esto, las tablas de Excel utilizadas por OpenL Tablets probablemente resulten más familiares para la mayoría de personas que los diagramas con Notación de Modelo de Decisión (Decision Model Notation, DMN) utilizados por Drools. Con respecto a la gestión de reglas (punto (b)), tanto Drools como OpenL Tablets cuentan con capacidades para creación, edición y eliminación de reglas, brindadas por DMN editor y OpenL Studio, respectivamente. La principal diferencia es que OpenL Studio también incluye herramientas para el versionado de las reglas. Para la integración (punto (c)) ambas opciones son comparables, permitiendo hacer uso directo de objetos Java dentro de las reglas. También se debe mencionar que ambos proyectos son – hasta la última fecha de edición de esta sección, 19/07/2025 – activamente mantenidos (punto (d)).

Además de los puntos en esta comparación, la principal diferencia entre ambas opciones fue que al trabajar con Drools se encontraron algunos problemas a la hora de gestionar las reglas. Teniendo en cuenta el objetivo 2, se utilizaron los diagramas DMN con expresiones escritas en Lenguaje de Expresión Suficientemente Amigable (Friendly Enough Expression Language, FEEL), los problemas fueron con los editores de reglas para este formato. Utilizando Ubuntu 22.04.5 LTS, tanto en la extensión como la librería web de DMN Editor, se encontraron problemas para la importación de clases Java, modelos en otros archivos y declaraciones de tipos en expresiones. Estas funcionalidades funcionaban de forma errónea o no funcionaban en la PC utilizada para el desarrollo.

A raíz de esta comparación, se considera que OpenL Tablets es la opción más apropiada para este trabajo.

## 4. Afiliaciones y cálculo de cuotas

Según lo establecido en [16], además del personal docente y no docente de la UNSL, otras personas también pueden afiliarse a DOSPU. A raíz de esto, los afiliados se encuentran divididos en las categorías titular, familiar y voluntario adherente. Asimismo, cada categoría está dividida en subcategorías, cada una utilizando distintas fórmulas o coeficientes en las mismas para el cálculo del aporte del afiliado [17].

### 4.1. Titular

La categoría titular tiene dos subcategorías. La primera es **Obligatorio Activo**, cuyo aporte es calculado fuera del SI, por lo que es excluido del alcance de este trabajo.
La segunda es **Voluntario Jubilado**, siendo el monto de su cuota:

$$0{,}02 * j_m + 0{,}05 * j_h$$

donde $j_m$ es la jubilación mínima determinada por ley y $j_h$ es el haber jubilatorio percibido. En caso de que dos voluntarios jubilados sean cónyuges o convivientes, se aplica un descuento del 30 % a la cuota del afiliado con menor haber percibido. Adicionalmente, el valor de esta cuota no puede ser inferior a la *cuota mínima de jubilado*, un valor tomado como referencia. Por último, en caso de no tener un haber percibido actualizado, se utiliza otro valor de referencia, llamado *cuota máxima de jubilado*, como el monto de la misma.

### 4.2. Familiar

Los familiares de obligatorios activos son no aportantes. Por otra parte, para cónyuges y convivientes de voluntarios jubilados, su cuota es un 70 % de la del afiliado titular.

### 4.3. Voluntario adherente

Esta categoría distingue las subcategorías: (a) becarios y personal ad honorem de la UNSL, (b) agente UNSL con licencia, (c) ascendientes en primer grado (de un afiliado

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



titular), (d) hijos (que hayan dejado de reunir las condiciones de no aportantes), (e) familiares adherentes, (f) universitarios adherentes, (g) ex-afiliados a DOSPU, (h) agentes vinculados a DOSPU y (i) adherente de edad avanzada.

El monto de la cuota para los afiliados de esta categoría se calcula como un porcentaje sobre el valor de referencia Cuota Mensual Máxima Única (CMMU), la cual se define como el 6 % del sueldo total bruto de un Profesor Universitario Titular Exclusivo con Máxima Antigüedad. La excepción a esta regla es la subcategoría (c).

En el caso ascendientes en primer grado (c) se distinguen dos casos. Si el afiliado cuenta con más de diez (10) años de antigüedad en DOSPU, se utiliza como valor de referencia CMMU20, equivalente a 6 % de un Profesor Universitario Titular Exclusivo con una Antigüedad correspondiente a veinte años, en lugar de la CMMU[18].

## 5. Integración

Para la integración de OpenL Tablets con SI–DOSPU existen dos alternativas.

La primera consiste en exponer las reglas por medio de un servicio web utilizando OpenL Rule Services. Esto nos permite integrar con distintas aplicaciones, sobre distintas plataformas, utilizar varias fuentes de datos y exponer varios proyectos y/o módulos mediante un único servicio web.

La segunda alternativa consiste en incluir OpenL Tablets como biblioteca y generar clases wrapper. Estas últimas se generan en tiempo de ejecución a partir del contenido de las tablas en documentos Excel, exponiendo las reglas definidas en los mismos como métodos. La principal ventaja de esta opción es que resulta en un menor costo de comunicación, dado que se realiza por medio de llamadas a métodos entre clases Java.

Considerando que las reglas serán utilizadas únicamente por SI–DOSPU, y estarán en un único proyecto, no pudiéndose sacar partido de los beneficios de un servicio web, se decidió utilizar la segunda opción. El diagrama en la figura 1 muestra un esquema de la integración resultante. Los rectángulos representan una o varias clases Java, siendo la comunicación entre las mismas por llamado de sus respectivos métodos.

### 5.1. Clases de integración

Como se mencionó en el apartado 3, OpenL Tablets permite hacer uso directo de objetos Java dentro de las reglas. Asimismo, permite hacer uso de clases de forma directa. Sin embargo, las clases del SI–DOSPU lidian con cuestiones no del todo relevantes para el cálculo de las cuotas, como el manejo de errores y el acceso a datos que involucra comunicación con varias clases. Para evitar contaminar con estos aspectos las reglas de cálculo, se crearon clases que los abstraen:

- `Afiliacion` encapsula complejidades de acceder a datos de la afiliación, como la categoría, subcategoría, si tiene cónyuge, etc.;
- `Valores`, de manera similar, abstrae el acceso a otros valores del sistema relevantes para el cálculo, como por ejemplo, el CMMU; y
- `Numero`, para poder operar sobre valores de tipo `BigDecimal` utilizando operadores tales como +, -, *, /, etc.

### 5.2. Formato de las reglas

OpenL Tablets ofrece una variedad de tipos de tablas [14]. Aquí describiremos brevemente el formato de las tablas de decisión, el cual es suficiente para expresar la lógica de negocio del cálculo de la cuota de afiliación.

La tabla de decisión en el cuadro 1 aborda el caso de los voluntarios adherentes. El formato de esta tabla, descrito a continuación, es una versión simplificada del formato de las tablas de decisión, pero resulta suficiente para describir las reglas presentadas en este trabajo.

La fila 1 contiene el encabezado de la tabla. En nuestro ejemplo: Rules indica que la tabla contiene reglas, Numero es el tipo de retorno y CalcularVoluntarioAdherente(Afiliacion

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



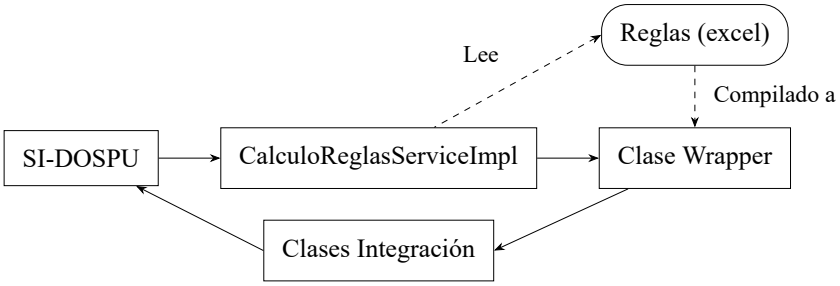



**Figura 1: Integración OpenL Tablets con SI-DOSPU**

| Rules Numero CalcularVoluntarioAdherente(Afiliacion afiliado, Valores valores) | |
|---|---|
| **C1** | **RET1** |
| subcategoria==valor | |
| String valor | Numero monto |
| **Subcategoria del afiliado** | **Monto retornado** |
| subcategoria-afiliacion-ascendiente-mas-diez-antiguedad | =CMMU20 * CoeficienteVoluntario(subcategoria, edad) |
| subcategoria-afiliacion-conyuge-ascendiente-mas-diez-antiguedad | |
| | =CMMU * CoeficienteVoluntario(subcategoria, edad) |

**Cuadro 1: Cálculo de cuota de voluntario adherente**

afiliado, Valores valores) es el nombre de la tabla con sus dos parámetros.

La fila 2 indica si las columnas forman parte de una condición, indicadas con Cn para la n-esima condición o retorno RETn para el n-esimo posible valor de retorno. Las expresiones que son evaluadas en cada condición o retorno se definen en la fila 3. En estas expresiones se puede hacer referencia a los parámetros de la regla, los campos de los mismo y los parámetros definidos en la fila 4. Ésta última especifica el tipo y nombre del parámetro.

La regla del ejemplo cuenta con una condición, que compara la subcategoría del afiliado con un parámetro de nombre valor y una expresión de retorno vacía, lo que es equivalente a retornar el parámetro de la columna, de nombre monto.

La fila 5 contiene nombres descriptivos para los parámetros, ignorados por el motor.

Las filas 6, en adelante, especifican los valores concretos para los parámetros. También pueden contener expresiones matemáticas o llamadas a otras reglas. En estas filas, en las columnas correspondientes a las condiciones, una celda vacía resulta en una condición que evalúa a verdadero.

Para evaluar una regla se evalúan las condiciones utilizando por un lado los valores correspondientes a los parámetros definidos en la fila 1 y por otro los valores de la fila 6, para los parámetros definidos en la fila 4. En caso de evaluar todas las condiciones de a verdadero, se retorna el resultado de evaluar la expresión de retorno. En caso contrario se repite el proceso, pero utilizando los valores de la fila 7 en lugar de la 6. Este proceso continúa hasta todas las condiciones evalúen a verdader o no haya más filas con valores.

Con esto en mente, se puede ver que el ejemplo define una regla de cálculo donde para dos posibles subcategorías se utiliza el valor de referencia CMMU20, mientras que para todas las demás (dado que se emplea una celda vacía) se la CMMU. Luego este valor es multiplicado por un coeficiente, que se obtiene llamando a otra regla.

### 5.3. Cuota de voluntario jubilado

El cálculo del monto a abonar por jubilados es uno de los más complejos (junto con el caso de los voluntarios adherentes). El mismo ocupa más de 150 líneas de código Java en la implementación original del SI.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El cálculo inicia con el cuadro 2. Se debe notar un atajo utilizado en la notación para las expresiones de las dos condiciones, C1 y C2. Se coloca únicamente, el nombre del campo, que se obtiene del parámetro Afiliado, cuando la expresión buscada es una igualdad con los valores que se colocarán en las celdas debajo. Entonces, si el afiliado no tiene haber percibido actualizado, se retorna el valor calculado en el cuadro 3. En caso de si tenerlo, el cálculo continua con el cuadro 4 o con el cuadro 6, dependiendo de si el afiliado tiene un cónyuge o conviviente que también sea titular en la obra social, o no.

El cálculo del monto para un afiliado sin haber actualizado se muestra en el cuadro 3. Se toma como monto la cuota máxima de jubilado por un modificador, el cual se define dependiendo de si tiene un cónyuge o conviviente como afiliado titular. El caso para voluntario jubilado sin cónyuge titular (responsable de pago) es similar. El mismo se trata en el cuadro 4. La diferencia es que se usa la fórmula de cálculo en base a su haber percibido cuadro 5, en lugar de la cuota máxima de jubilado.

El caso de voluntario jubilado con cónyuge titular requiere dos tablas. La primera se puede ver en el cuadro 6. En ella se comprueba si su cónyuge es también voluntario jubilado titular. En caso de serlo, dependiendo de su condición, que debe estar habilitado o en su defecto moroso, y si es responsable de pago y tiene su haber percibido actualizado, se utiliza el cuadro 7. Cabe aclarar que puede ser titular, pero no ser responsable de pago, si su cónyuge pague su cuota. En el cuadro 7 se controla si el voluntario al que se le está cobrando, que tiene cónyuge que también es voluntario jubilado, es el de menor ingresos, para hacer el descuento en el monto. El tratamiento de este caso puede parecer controlar de manera redundante algunas condiciones. Esto es porque el tratamiento de cada afiliado titular se hace de manera independiente, no como grupo familiar.

### 5.4. Simulando un cambio

Para ilustrar las ventajas de integrar el motor de reglas, consideremos la aplicación del siguiente cambio.

*El cálculo de la cuota de un afiliado agente UNSL con licencia será equivalente al 9% del sueldo bruto que percibiría si estuviera en actividad. De igual forma, dicho monto no puede ser inferior a los porcentajes de la CMMU que se utilizan en el cálculo anteriormente presentado para la subcategoría.*

Para implementar el cambio, basta modificar la especificación en el cuadro 1 para que quede como el cuadro 8. En este último hay una fila adicional considerando el caso especial introducido para el afiliado agente UNSL con licencia.

## 6. Resultados

Los resultados principales son mejoras en la mantenibilidad: en el esfuerzo requerido para materializar un cambio, y en la legibilidad del código fuente.

Para evaluar el esfuerzo requerido para implementar un cambio, consideremos dos escenarios para el cambio descrito en el apartado 5.4: sobre el sistema original, o sobre el sistema con el motor de reglas integrado. En el primer escenario, el cambio implica la modificación/adición de unas 32 líneas de código. Seguidamente, se debe volver a compilar y desplegar el sistema para que estos cambios sean efectivos. En el segundo escenario, el cambio se materializa en el acto. En tiempo de ejecución, el cambio es detectado y se generan nuevas clases wrapper, sin necesidad de volver a compilar el código fuente, o desplegar una nueva versión del sistema.

La legibilidad del código fuente se estudió utilizando como métrica cuantitativa la cantidad de líneas de código que corresponden a la totalidad de las líneas responsables del cálculo de las cuotas. Para reducir el sesgo de formateo, se midieron las líneas de código utilizando dos formateadores distintos:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Rules Numero CalcularJubilado(Afiliacion afiliado, Valores valores) | | |
|---|---|---|
| **C1** | **C2** | **RET1** |
| tieneHaberPercibido | tieneConyugeOConviviente | |
| | | Numero monto |
| **Tiene Haber Percibido** | **Tiene Conyuge o Conviviente** | **Monto** |
| no | | =CalcularJubiladoSinHaberPercibido(afiliado, valores) |
| yes | no | =CalcularJubiladoSinConyuge(afiliado, valores) |
| | yes | =CalcularJubiladoConConyuge(afiliado, valores) |

**Cuadro 2: Cálculo de cuota de jubilado**

| Rules Numero CalcularJubiladoSinHaberPercibido(Afiliacion afiliado, Valores valores) | |
|---|---|
| **C1** | **RET1** |
| pagaPorConyuge | cuotaMaximaJubilado * modificador |
| | Numero modificador |
| **Paga por su conyuge** | **Modificador** |
| no | 1 |
| yes | 1.7 |

**Cuadro 3: Cálculo de cuota de jubilado sin haber actualizado**

| Rules Numero CalcularJubiladoSinConyuge(Afiliacion afiliado, Valores valores) | |
|---|---|
| **C1** | **RET1** |
| pagaPorConyuge | CalcularJubiladoBase(afiliado, valores) * modificador |
| | Numero modificador |
| **Paga por su conyuge** | **Modificador** |
| no | 1 |
| yes | 1.7 |

**Cuadro 4: Cálculo de cuota de jubilado sin cónyuge titular**

| Rules Numero CalcularJubiladoBase(Afiliacion afiliado, Valores valores) |
|---|
| **RET1** |
| monto |
| Numero monto |
| **Monto** |
| =max(cuotaMinimaJubilado, 0.02 * jubilacionMinima + 0.05 * haberPercibido) |

**Cuadro 5: Cálculo cuota base jubilado**

| Rules Numero CalcularJubiladoConConyuge(Afiliacion afiliado, Valores valores) | | |
|---|---|---|
| **C1** | **C2** | **RET1** |
| conyugeOConviviente.subCategoria | (conyugeOConviviente.estaHabilitado \|\| conyugeOConviviente.estaMoroso) && conyugeOConviviente.esResponsableDePago && (conyugeOConviviente.tieneHaberPercibido) | |
| | | Numero monto |
| **Categoría Conyuge** | **Conyuge es responsable habilitado o moroso de pago con haber percibido** | **Monto** |
| subcategoria-afiliacion-voluntario-jubilado | yes | =CalcularJubiladoConConyugeResponsablePago (afiliado, valores) |
| | | =CalcularJubiladoBase(afiliado, valores) |

**Cuadro 6: Cálculo de cuota de jubilado con cónyuge**

| Rules Numero CalcularJubiladoConConyugeResponsablePago(Afiliacion afiliado, Valores valores) | |
|---|---|
| **C1** | **RET1** |
| conyugeOConviviente.haberPercibido > haberPercibido | CalcularJubiladoBase(afiliado, valores) * modificador |
| | Numero modificador |
| **Conyuge con mayor haber percibido** | **Modificador** |
| no | 1 |
| yes | 0.7 |

**Cuadro 7: Cálculo cuota jubilado con cónyuge**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Rules Numero CalcularVoluntarioAdherente(Afiliacion afiliado, Valores valores) | |
|---|---|
| **C1** | **RET1** |
| subcategoria | |
| | Numero monto |
| **subcategoria** | **Monto** |
| subcategoria-afiliacion-ascendiente-mas-diez-antiguedad | |
| subcategoria-afiliacion-conyuge-ascendiente-mas-diez-antiguedad | =CMMU20*CoeficienteVoluntario(subcategoria, edad) |
| subcategoria-afiliacion-agente-unsl-licencia | =max(CMMU*CoeficienteVoluntario(subcategoria, edad), haberPercibido*0.09) |
| | =CMMU * CoeficienteVoluntario(subcategoria, edad) |

**Cuadro 8: Cálculo modificado voluntario adherente modificado**

- google-java-format (GJF): un formateador que sigue la Guía de estilo de Java de Google.
- Formateador de JDT LS, que es la implementación de LSP de Java utilizada por la IDE de Eclipse.

Se consideraron dos versiones: la original, y la resultante luego de mejorar el original aplicando patrones de programación funcional (ver apartado 2). En el cuadro 9 se pueden ver las líneas de código de ambas. Se puede ver que más allá del formateador utilizado, la segunda posee un menor número de líneas. Por otra parte, utilizando el motor de reglas se utilizan 143 filas en todas las tablas utilizadas para los cálculos. Esto es considerablemente menos que la mejor medición de líneas de código: 444.

| | GJF | JDT LS |
|---|---|---|
| Original | 573 | 556 |
| Funcional | 512 | 444 |

*Cuadro 9: Cantidad de líneas de código*

## 7. Conclusión y Trabajos Futuros

En esta publicación describimos la integración del motor de reglas OpenL Tablets a SI–DOSPU en el marco de un proyecto integrador final de la carrera de Ingeniería en Informática de la UNSL. La misma da evidencia del grado de concreción de los objetivos planteados para el trabajo, según fueron descritos en el apartado 1, a partir de los cuales el sistema se vuelve más mantenible y ágil frente a los cambios en la realidad socioeconómica del país.

El objetivo 1 plantea extraer las reglas de negocio de reglamentaciones y del mismo código fuente. El apartado 4 muestra dichas reglas, obtenidas como indica el apartado 2.

El objetivo 2 requiere utilizar un lenguaje para expresar las reglas que sea inteligible para el personal de una OSU. Se estima que el personal podrá utilizar de manera efectiva las planillas de cálculo para mantener actualizadas las reglas del negocio en el sistema. Sin embargo, esto podría verificarse luego de establecer un proceso de negocio que incorpore el resto de las herramientas de gestión provistas por OpenL Tablets y que se capacite adecuadamente a dicho personal. Ambas tareas afuera del alcance del presente proyecto integrador final.

El objetivo 3 apunta a gestionar las especificaciones de las reglas de negocio separadas del sistema. Como pudo observarse en el apartado 5, las reglas son almacenadas en archivos Excel, separadas del sistema, y pueden ser gestionadas de manera independiente.

El objetivo 4 requiere reducir el esfuerzo para materializar cambios en las reglas del negocio. Como fue explicado en el apartado 6, las clases wrapper utilizadas para acceder a las reglas pueden ser cambiadas en tiempo de ejecución, permitiendo realizar cambios sin la necesidad de volver a compilar y desplegar el sistema.

Se proyecta mejorar el soporte de la evolución de las reglas de negocio. Actualmente las reglas se editan modificando los documentos Excel que las contienen. Esta situación es proclive a errores, ya que los editores de este tipo de archivos carecen de validación y versionado de las reglas en formato OpenL Tablets.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para evitar esto, y facilitar la gestión de reglas por parte del personal de la OSU, se podría hacer uso de OpenL Studio, configurándolo para que funcione en conjunto con el SI actual. OpenL Studio incluye un editor que valida las reglas, así como herramientas para el control de versiones y la autorización de acceso al personal con las credenciales adecuadas.

A su vez, queda pendiente verificar de manera experimental si el personal de la OSU (sin formación en programación) puede hacer uso del lenguaje definido por OpenL Tablets para expresar las reglas de negocio.

Por supuesto, el trabajo también puede continuar verificando si es posible parametrizar otras reglas de negocio de la OSU, como por ejemplo, con las utilizadas para el cálculo de las coberturas de las prácticas.

**Agradecimientos**

Le agradezco al Mg. Alejandro Sánchez y Dr. Carlos Humberto Salgado por el acompañamiento durante el desarrollo del presente trabajo.

**Referencias**

[1] Spring Framework. Último acceso: 29/07/2025. URL: https : / / spring . io / projects/spring-framework (vid. pág. 1).

[2] PostgreSQL. Último acceso: 29/07/2025. URL: https : / / www . postgresql . org/ (vid. pág. 1).

[3] Angular. Último acceso: 29/07/2025. URL: https://angular.dev/ (vid. pág. 1).

[4] Agustin Vela Luengo. «Un Sistema Informático de Expendio de Órdenes para DOSPU». Trabajo integrador final. Universidad Nacional de San Luis, 2024 (vid. pág. 1).

[5] Mina Medić et al. «Calculation of Insurance Policy Prices Using Rules-based Systems». En: Proceedings of the 9th International Conference on Information Society and Technology. 2019, págs. 187-191 (vid. pág. 2).

[6] Mark Proctor. «Drools: a rule engine for complex event processing». En: Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance 7233 (2012), págs. 2-2 (vid. pág. 2).

[7] Mariano Sampol et al. «Un sistema operacional mejorado con el uso de un motor de reglas de negocio: el caso SENASA». En: XIII Simposio de Informática en el Estado (SIE 2019)-JAIIO 48 (Salta). 2019 (vid. pág. 2).

[8] Paul C. Jorgensen. Software Testing: a Craftman's Approach. 4.ª ed. CRC Press, 2014. Cap. 5,6. ISBN: 978-1-4665-6069-7 (vid. pág. 3).

[9] Qusay H. Mahmoud. Getting Started With the Java Rule Engine API (JSR 94): Toward Rule-Based Applications. Último acceso: 29/07/2025. Oracle. 2005. URL: https : / / www . oracle . com / technical - resources / articles / javase / javarule . html (vid. pág. 3).

[10] Delivered Technologies. RuleBook. Último acceso: 29/07/2025. 2018. URL: https : / / github . com / deliveredtechnologies / rulebook (vid. pág. 3).

[11] Jeasy. Easy Rules. Último acceso: 29/07/2025. 2020. URL: https://github.com/j-easy/easy-rules (vid. pág. 3).

[12] Sandia National Laboratories. Jess. Último acceso: 29/07/2025. 2006. URL: http : / / alvarestech . com / temp / fuzzyjess / Jess60 / Jess70b7/docs/index.html (vid. pág. 3).

[13] Drools Project. Introduction. Último acceso: 29/07/2025. 2024. URL: https://docs.drools.org / 8 . 44 . 0 . Final / drools - docs / drools / introduction/index.html (vid. pág. 3).

[14] OpenL Tablets Team. OpenL Tablets BRMS Reference Guide. Último acceso: 22/07/2025. s.f. URL: https://openldocs.readthedocs.io/en/latest/documentation/guides/reference_guide/ (vid. págs. 3, 5).

[15] Iván Brocas. Ejemplos Motores de Reglas. 2025. URL: https : / / github . com / IvanB101 / ejemplos-motores-reglas (vid. pág. 3).

[16] Consejo Superior de la Universidad de San Luis. Ordenanza C.S. Nro. 53D/16. 2016 (vid. pág. 4).

[17] Directorio DOSPU. Resolución Nro. 21D/21. 2021 (vid. pág. 4).

[18] Directorio DOSPU. Resolución Nro. 60. 2022 (vid. pág. 5).

**Datos de Contacto**

*Email Iván Brocas: ivanbrocas01@gmail.com*
*Email Alejandro Sánchez: aljsanchez@gmail.com*
*Email Carlos H. Salgado: salgadocar@gmail.com*
*Universidad Nacional de San Luis. Avenida Ejército de los Andes 950, Ciudad de San Luis.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Wevently
## *Sistema para la organización de eventos privados*

**Arce, Alejandro - Duga, Iván - Palazzo, Marcio - Rosales, Cristian - Silva, Enzo**

***UTN Facultad Regional Mendoza, Ingeniería en sistemas***

**Resumen**

*En el presente artículo se expone el proyecto desarrollado en el marco del trabajo final de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, el cual consiste en una plataforma web denominada Wevently, orientada a optimizar la organización de eventos mediante la conexión directa entre clientes, prestadores de servicios y proveedores de espacios físicos.*

*La plataforma surge como respuesta a la necesidad de modernizar y agilizar los procesos de planificación de eventos, que en muchos casos todavía se gestionan mediante canales informales o herramientas dispersas. Wevently centraliza la información relevante en un entorno digital único, permitiendo a los usuarios buscar, comparar, contratar y coordinar en tiempo real lugares y servicios adecuados a sus necesidades. Además, ofrece funcionalidades complementarias como mensajería instantánea, envío de propuestas, sistema de reseñas, generación de reportes y procesamiento de pagos, promoviendo una experiencia más fluida, transparente y profesional.*

**Abstract**

*This paper presents Wevently, a modular, web-based platform designed to digitally transform event planning processes by centralizing the coordination between clients, service providers, and venue managers. Developed as a final project in Information Systems Engineering, Wevently integrates functionalities such as service discovery, secure reservations, integrated payments, and user-generated reviews-typically dispersed across informal tools-into a unified interface.*

*Due to its scalable design and responsive interface, Wevently addresses current inefficiencies in the social and corporate event sectors, while enabling future extensions. Ongoing development lines include guest invitation automation, AI-powered recommendation systems, and a virtual assistant for customer support. These enhancements aim to increase usability, personalization, and cost-efficiency in the event management lifecycle.*

**Palabras clave**

Organización de eventos, Reserva de lugares, Servicios para eventos, Gestión de eventos, Contratación de servicios.

## 1. Introducción

La organización de eventos sociales y privados - como cumpleaños, casamientos, reuniones familiares o celebraciones temáticas - constituye una práctica frecuente en la vida cotidiana. No obstante, la gestión de estos eventos suele implicar múltiples desafíos tanto para quienes los organizan como para quienes ofrecen los espacios y servicios necesarios para llevarlos a cabo. Desde el punto de vista de los organizadores, encontrar un lugar adecuado y contratar prestadores confiables suele ser una tarea compleja, dependiente de recomendaciones informales, disponibilidad incierta y negociaciones poco claras. Por otro lado, los prestadores de servicios o espacios se enfrentan a problemas como cancelaciones de último momento, acuerdos informales sin respaldo, y dificultades para hacer visibles sus ofertas a potenciales clientes.

Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar una solución tecnológica que centralice la interacción entre los tres actores principales: organizadores, prestadores de servicios y propietarios de espacios. En este marco, se plantea Wevently, una plataforma digital diseñada para facilitar la organización de eventos de forma eficiente, transparente y profesional. La propuesta permite a los organizadores explorar y contratar lugares y servicios en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



un único entorno, acceder a reseñas verificadas, gestionar presupuestos y realizar pagos de forma segura. Al mismo tiempo, brinda a los prestadores herramientas para publicar sus ofertas, interactuar con clientes potenciales y gestionar sus contrataciones con trazabilidad y respaldo digital.

El objetivo general del proyecto es reducir la fragmentación del proceso organizativo, agilizando las tareas de planificación, contratación y coordinación a través de un sistema accesible y adaptable. Desde el punto de vista técnico, el sistema se construye bajo una arquitectura modular basada en tecnologías ampliamente adoptadas, priorizando la escalabilidad, la seguridad de la información y la experiencia del usuario.

La principal limitación identificada reside en la resistencia al cambio por parte de ciertos usuarios que están habituados a operar mediante canales tradicionales (como mensajería instantánea o acuerdos verbales), así como en la necesidad de alcanzar una masa crítica de usuarios para que la plataforma cumpla plenamente su función de intermediación. No obstante, se espera que la implementación de Wevently contribuya significativamente a profesionalizar la organización de eventos, reducir tiempos, mitigar conflictos y brindar mayor seguridad a todas las partes involucradas.

## 2. Metodología de desarrollo utilizada

Para el desarrollo del sistema, se adoptó un enfoque metodológico híbrido combinando metodologías tradicionales con prácticas ágiles. La etapa de definición de requerimientos fue cerrada al inicio, estableciendo los objetivos y funcionalidades clave según relevamiento previo. Las fases de diseño y desarrollo se ejecutaron aplicando iteraciones semanales inspiradas en SCRUM, permitiendo ajustes menores para optimizar el producto final. A continuación, se describe brevemente el enfoque adoptado en cada etapa:

Planificación: Se evaluó la factibilidad técnica y operativa del proyecto, considerando los recursos disponibles (humanos, tecnológicos y de tiempo), así como los riesgos potenciales asociados al desarrollo. Esta etapa permitió establecer un marco realista de trabajo.

Definición de requerimientos: Se realizó un relevamiento exploratorio de plataformas similares en el mercado, no con fines de replicación, sino para obtener inspiración funcional y detectar oportunidades de diferenciación. A partir de este análisis se definieron los alcances, objetivos preliminares y funcionalidades clave del sistema.

Diseño: Se especificaron las características funcionales del sistema mediante la elaboración de historias de usuario, wireframes y el diseño del modelo funcional y de datos. Esta fase permitió establecer una visión detallada del producto final, alineada con las necesidades identificadas.

Desarrollo e implementación: Durante esta etapa se llevó a cabo la codificación de las funcionalidades, la ejecución de pruebas, la configuración de servidores y el despliegue del sistema. Aquí se incorporaron prácticas propias de metodologías ágiles, adoptando un enfoque iterativo basado en ciclos semanales de desarrollo.

Cada iteración tuvo una duración de una semana, con reuniones diarias breves (los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



domingos) para alinear al equipo, resolver bloqueos y asegurar la continuidad del trabajo. Al finalizar cada iteración, se realizaba un análisis retrospectivo para identificar oportunidades de mejora en la productividad y en la colaboración del equipo.
Este enfoque mixto permitió asegurar el cumplimiento de los objetivos en los plazos establecidos.
A nivel técnico el desarrollo fue dividido en módulos funcionales de manera de segmentar y organizar mejor el sistema. En el siguiente apartado se describen en detalle los mismos.

## 3. Módulos que componen el sistema

***Módulo de usuarios y seguridad***
Este módulo gestiona el acceso y la identidad de los distintos usuarios de la plataforma, incluyendo organizadores de eventos, prestadores de servicios, propietarios de espacios y administradores. Permite realizar el registro de nuevos usuarios, la recuperación de contraseñas, la modificación de datos personales, y el inicio de sesión con autenticación por correo electrónico y contraseña.

Además, contempla la gestión de roles y permisos, posibilitando la administración granular de accesos y funcionalidades por tipo de usuario. Incluye también la funcionalidad de notificaciones, que permite a los usuarios recibir alertas e interacciones relevantes dentro del sistema, como puede observarse en la Figura 1 (Gestión de permisos).




*Figura 1: gestión de permisos*

Como se aprecia en la Figura 2: Pantalla de configuración, el sistema también contempla la administración de las diferentes configuraciones disponibles para el rol de administrador, permitiendo ajustar parámetros clave y gestionar el funcionamiento general de la plataforma.

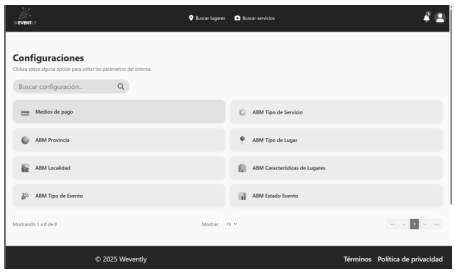



*Figura 2: pantalla de configuración*

***Módulo de eventos***
Central en la arquitectura del sistema, este módulo permite a los organizadores crear, visualizar, modificar y eliminar eventos. Cada evento posee información como nombre, tipo, fecha, horarios, descripción y estado.
Asimismo, se permite asociar al evento los servicios y lugares contratados, y aplicar filtros por tipo, fecha o estado. También incluye la gestión de reseñas, permitiendo que los usuarios califiquen la experiencia vivida, así como la administración de los tipos de evento y los estados posibles de los mismos, como se contempla en la Figura 3 (Gestión de eventos).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



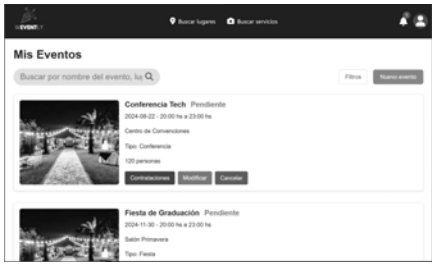



*Figura 3: Gestión de eventos*

***Módulo de servicios***

Este módulo está orientado a los prestadores de servicios, quienes pueden registrar, modificar o eliminar sus ofertas, ingresando detalles como nombre, tipo, descripción, ubicación y prestaciones ofrecidas, tal como se muestra en la Figura 4 (Gestión de servicios).

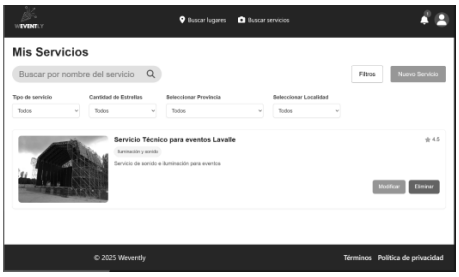



*Figura 4: Gestión de servicios*

Los usuarios pueden buscar servicios mediante filtros por nombre, calificación o tipo, y realizar contrataciones vinculadas a eventos, validando automáticamente la compatibilidad con los lugares seleccionados, tal como se aprecia en la Figura 5 : Buscar servicios.




*Figura 5: Buscar servicios*

Incluye funcionalidades de mensajería integrada entre cliente y prestador, propuestas personalizadas y un historial completo de contrataciones realizadas. Asimismo, contempla el ABM de tipos de servicio y de estados asociados, como se observa en la Figura 6 : Chat entre prestador y cliente.

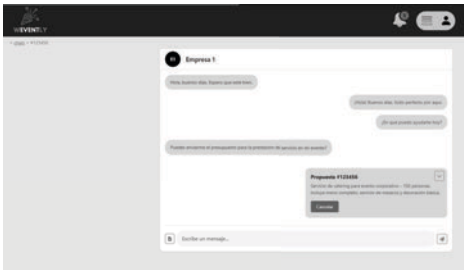


*Figura 6: Chat entre prestador y cliente*

***Módulo de lugares***

Pensado para quienes ofrecen espacios para eventos, este módulo permite registrar, modificar y eliminar lugares físicos, ingresando características clave como capacidad, tipo, ubicación y precio.
Los usuarios pueden buscar lugares aplicando filtros por tipo, capacidad, ubicación, calificación o precio, tal como se aprecia en la Figura 7 : Buscar lugares.

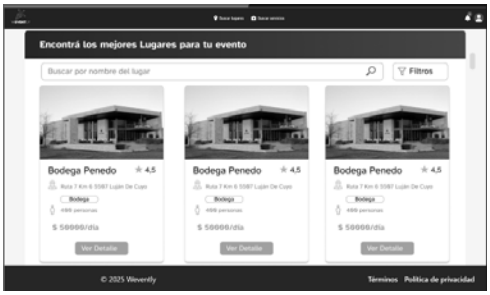



*Figura 7: Buscar lugares*

Por otro lado, se gestionan las características específicas del lugar (por ejemplo, si cuenta con pileta, parrilla, Wi-Fi, etc.), junto con los tipos de lugares

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



disponibles, provincias y localidades. Asimismo, se incorpora la visualización y contratación de lugares vinculados a eventos existentes o nuevos, validando de manera automática la compatibilidad con los servicios contratados, tal como se muestra en la Figura 8 : Ver reservaciones de lugar.

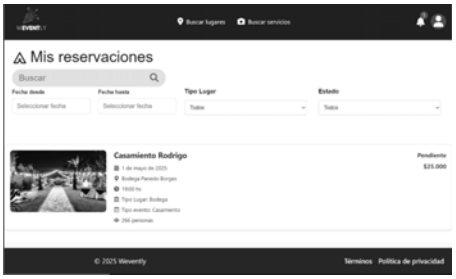



*Figura 8: Ver reservaciones de lugar*

***Módulo de pagos***

Este módulo permite a los usuarios realizar pagos seguros por la contratación de servicios o lugares. Se pueden utilizar diferentes medios de pago, como tarjetas o billeteras digitales (por ejemplo, Mercado Pago).

Durante el proceso, se validan los datos ingresados y se garantiza la integridad de la transacción, como se ilustra en la Figura 9 : Pago con Tarjeta/Mercado Pago.




*Figura 9: Pago Tarjeta/Mercado Pago*

El módulo también contempla la gestión de comisiones aplicadas a cada transacción y el ABM de los medios de pago disponibles.

***Módulo de reportes***

Permite generar reportes clave para los distintos actores del sistema. Entre ellos se encuentran: actividad de usuarios, vistas y solicitudes de lugares y servicios, historial de eventos, ranking de servicios más solicitados, y reporte financiero con ingresos y egresos estimados.

Los reportes pueden visualizarse en distintos formatos y ser exportados como archivos PDF.

Este módulo ofrece herramientas analíticas esenciales para la toma de decisiones informadas por parte de prestadores y organizadores, tal como se aprecia en la Figura 10 : Servicios más solicitados.




*Figura 10: Servicios más solicitados*

***Módulo de backups***

Este módulo brinda herramientas para la creación, visualización, descarga y eliminación de respaldos del sistema.

Se pueden definir parámetros como el nombre, la descripción, la retención en días y la fecha de ejecución del backup.

Además, se gestionan los posibles estados que puede tener un respaldo, lo que asegura que la información del sistema esté protegida y pueda ser recuperada ante fallos o pérdidas, como se muestra en la Figura 101: Gestión de backups.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



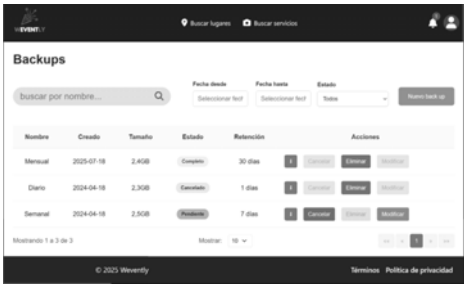



*Figura 11: Gestión de backups*

## 4. Tecnologías utilizadas

Para llevar a la vida el sistema fue necesario el uso de diversas tecnologías, tanto para el backend como el frontend. A continuación se enumeran las tecnologías y herramientas utilizadas:

Herramientas para el frontend:

React (v19)[9]: como herramienta para el desarrollo de la interfaz de usuario.

HTML5[12]: para la estructura semántica del contenido web.

JavaScript: utilizado para implementar funcionalidades interactivas del lado del cliente.

Figma[4]: para la creación de prototipos visuales y mockups interactivos durante la fase de diseño del frontend.

Herramientas para el backend:

Java + Spring Boot[15][18]: Framework que facilita la construcción de aplicaciones Java orientadas a servicios web REST, brindando configuración simplificada, integración con bases de datos y control de dependencias.

Postman[16]: para validar, depurar y documentar las peticiones HTTP durante el desarrollo backend.

Base de datos:

MySQL[13]: como motor de base de datos.

MySQL Workbench[14]: Interfaz gráfica que permite modelar, consultar y administrar visualmente las bases de datos.

Herramientas para documentación y control de versiones:

Git[2]: para el control de versiones y tener un detallado historial de cambios en el código fuente.

GitHub[5]: como plataforma de almacenamiento de código en repositorio en la nube.

Google Docs[6]: elaboración de la documentación técnica y funcional del proyecto.

Google Drive[7]: Almacenamiento en la nube para los entregables, diagramas y manuales.

Herramientas de gestión de proyectos:

Trello[1]: para organizar las tareas y dar seguimiento al estado de avance del proyecto.

ProjectLibre[17]: utilizada para la elaboración del cronograma detallado y la asignación de tiempos y responsables.

Otras herramientas utilizadas:

WhatsApp[10]: Medio de comunicación informal y ágil para resolver dudas rápidas.

Discord[3]: para reuniones remotas y coordinación en tiempo real.

Lucidchart[8]: elaboración colaborativa de diagramas UML.

Visual Studio Code[11]: Editor de código fuente utilizado tanto para el desarrollo frontend como backend.

## 5. Funcionalidades principales

A continuación se expondrán las funcionalidades del sistema para cada actor que interactúa con el sistema:

**Usuarios no autenticados**, cualquier usuario no autenticado puede acceder a las siguientes funcionalidades básicas:

- Iniciar sesión, registrarse y recuperar contraseña.
- Buscar servicios y buscar lugares.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Usuario logueados**, independientemente de su rol pueden:

- Modificar datos personales.
- Gestionar notificaciones (excepto el administrador, quien no posee esta funcionalidad).

El **organizador de eventos**, cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Crear, modificar y cancelar eventos propios.
- Contratar lugares disponibles para sus eventos.
- Iniciar conversaciones con prestadores de servicios mediante chat y, posteriormente, contratarlos o no.
- Emitir reseñas sobre los lugares o servicios contratados previamente.
- Realizar pagos de reservas a través de los medios habilitados.
- Visualizar reportes de sus eventos anteriores, incluyendo métricas como cantidad de eventos realizados, gastos promedio por evento, entre otros.

El rol de los **prestadores de lugar** puede:

- Visualizar las reservas realizadas sobre cada uno de sus lugares.
- Publicar nuevos lugares en la plataforma.
- Modificar la información de lugares ya publicados.
- Dar de baja lugares que ya no deseen ofrecer.
- Acceder a un reporte financiero con estimaciones de ingresos futuros según las contrataciones recibidas.
- Visualizar reportes detallados sobre la cantidad de solicitudes y vistas por lugar, en un rango temporal determinado.

El **prestador de servicios** puede:

- Dar de alta nuevos servicios, modificarlos o eliminarlos.
- Visualizar todas las contrataciones realizadas sobre sus servicios.
- Crear y eliminar propuestas personalizadas para organizadores a través del chat.
- Acceder a reportes de visualización de sus servicios, con posibilidad de filtrar por fechas, tipo de servicio o localidad.

Por último, el **administrador del sistema** puede:

- Dar de alta, modificar o eliminar roles con sus permisos.
- Ver la cantidad de usuarios activos para un rango de fecha determinada.
- Ver una lista con los servicios más solicitados.
- Crear, modificar o dar de baja los medios de pago soportados.
- Gestionar los backups del sistema con la creación, eliminación o modificación.
- Crear, modificar o dar de baja los estados de un evento.
- Crear, modificar o dar de baja los tipos de eventos soportados.
- Crear, modificar o dar de baja las características que puede tener un lugar.
- Crear, modificar o dar de baja las localidades y provincias.
- Crear, modificar o dar de baja los tipos de lugar.
- Crear, modificar o dar de baja las comisiones a cobrar en cada contratación de lugar o servicio.
- Crear, modificar o dar de baja los estados que tendrán los backups.
- Crear, modificar o dar de baja los estados que tendrán los servicios.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Crear, modificar o dar de baja los tipos de servicio.
- Crear, modificar o dar de baja los tipos de servicio prestación para añadir características a los servicios.

Se proporciona un diagrama de casos de uso de la interacción entre los módulos del sistema y los actores, que representa cómo los diferentes componentes del sistema se relacionan con los usuarios.

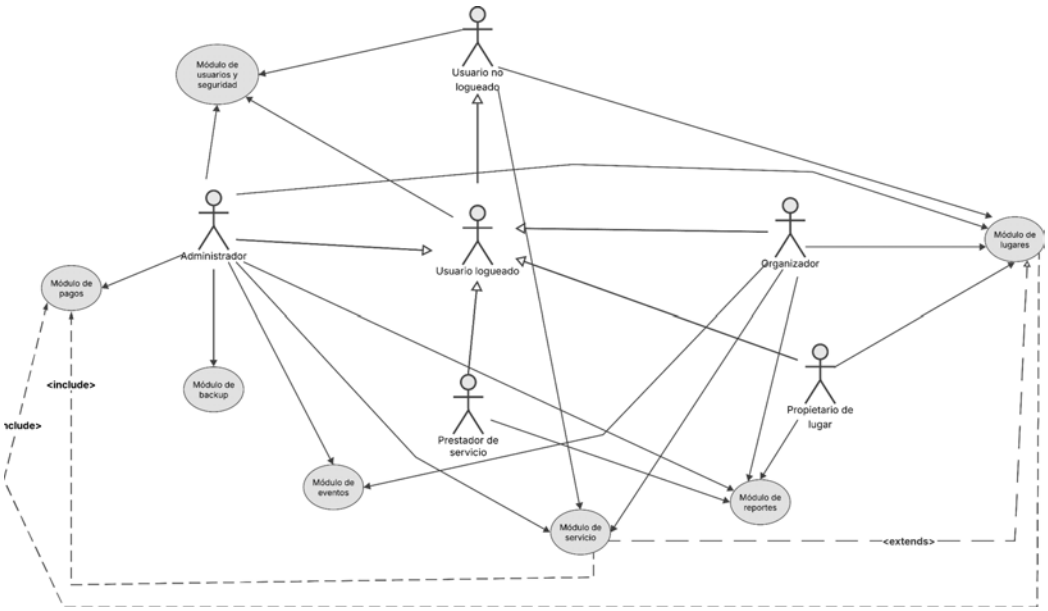



*Figura 11: Diagrama de casos de uso de módulos*

## 6. Modelo de datos

Se empleó un diagrama de clases para representar las entidades, atributos y relaciones del sistema. Se incluye una versión reducida del módulo de eventos, con omisiones para mejorar la claridad.

Como puede verse en la imagen cada relación representa cómo interactúan los objetos en el sistema y las multiplicidades indican la cantidad de instancias posibles en cada extremo de la asociación.

Por ejemplo, una propuesta puede estar asociada a una única reserva pero una reserva puede no tener una propuesta asociada. Respecto a los datos de la reserva se decidió agregar nombre, apellido, mail y teléfono porque podrías desde la cuenta de un familiar que no entiende de tecnología reservar a tu nombre.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



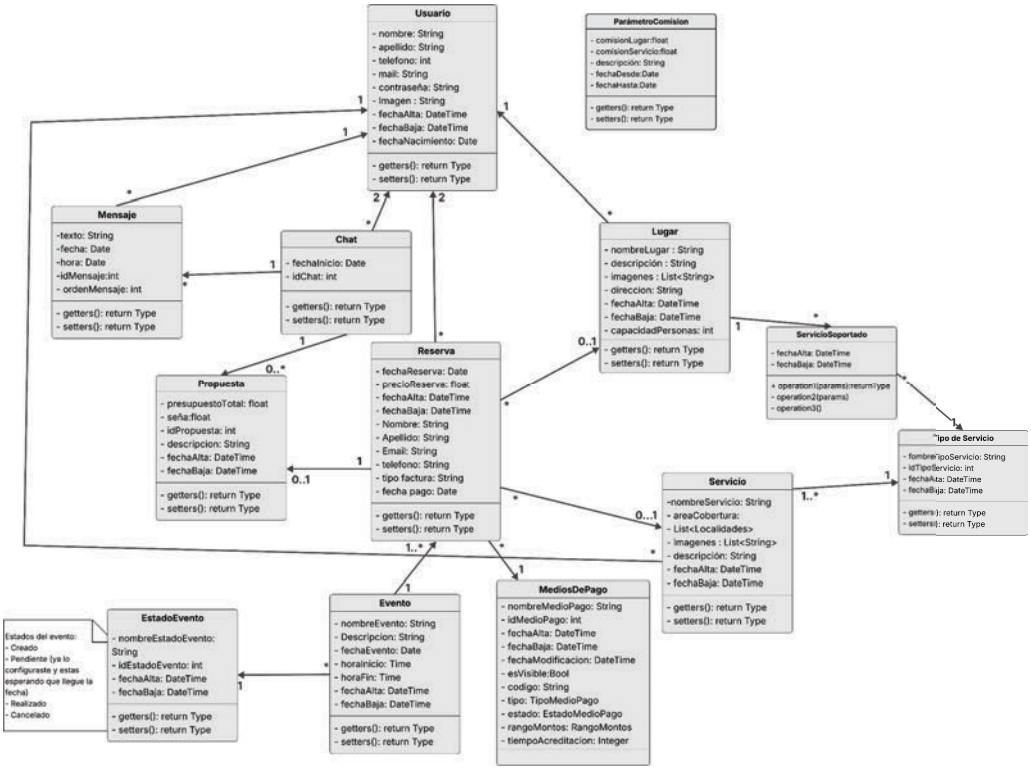



*Figura 12: Diagrama de clases de entidad reducido*

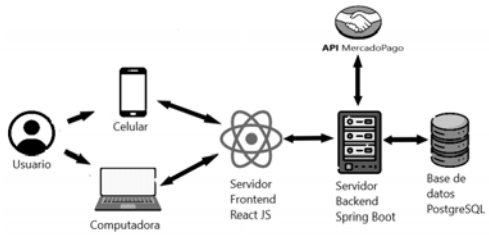



*Figura 13: Diagrama de Arquitectura*

## 7. Conclusión y trabajos futuros

El desarrollo de Wevently representa un aporte significativo a la digitalización de la organización de eventos, integrando en una misma plataforma a organizadores, prestadores y proveedores con un enfoque en eficiencia, seguridad y experiencia de usuario.

En el plano técnico, la combinación de React, Spring Boot, MySQL y Google Cloud permitió construir un sistema robusto, escalable y confiable, complementado con integraciones seguras como Mercado Pago. La adopción de un enfoque híbrido de gestión de proyecto, apoyado en herramientas como Trello, ProjectLibre, GitHub y Postman, favoreció una planificación ordenada, un desarrollo ágil y un proceso de pruebas efectivo. Asimismo, el uso de Figma y Lucidchart en el diseño aseguró claridad y consistencia en la interfaz y arquitectura del sistema.

No obstante, el sistema aún presenta oportunidades de mejora que se plantean como líneas de trabajo futuras:

***Módulo de invitaciones:*** Incorporar funcionalidades para la generación y envío

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de invitaciones digitales, control de asistencia y seguimiento de invitados. Esto permitiría cerrar el ciclo completo de la organización, integrando también al público destinatario del evento.

***Módulo de recomendaciones inteligente***: Aplicar técnicas de machine learning para analizar el comportamiento del usuario y sugerir servicios o lugares en función de sus preferencias y contrataciones anteriores, mejorando así la personalización de la experiencia.

***Agente conversacional automatizado:*** Desarrollar un asistente virtual con inteligencia artificial que, entrenado con la documentación y parámetros de la plataforma, sea capaz de brindar soporte técnico automatizado. Esta funcionalidad podría reducir los costos de atención al cliente y ofrecer una respuesta inmediata y eficiente ante consultas frecuentes.

## 8. Referencias bibliográficas

[1] Atlassian. (s. f.). Trello. https://trello.com/es. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[2] Chacon, S., & Straub, B. (s. f.). Git – Distributed Version Control System. https://git-scm.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[3] Discord Inc. (s. f.). Discord – Your place to talk and hang out. https://discord.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[4] Figma, Inc. (s. f.). Figma – The collaborative interface design tool. https://www.figma.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[5] GitHub, Inc. (s. f.). GitHub. https://github.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[6] Google. (s. f.). Google Docs. https://docs.google.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[7] Google. (s. f.). Google Drive. https://workspace.google.com/products/drive/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[8] Lucid Software Inc. (s. f.). Lucidchart. https://www.lucidchart.com/pages. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[9] Meta. (s. f.). React. https://react.dev/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[10] Meta. (s. f.). WhatsApp. https://www.whatsapp.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[11] Microsoft. (s. f.). Visual Studio Code. https://code.visualstudio.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[12] Mozilla Foundation. (s. f.). HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto. https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[13] Oracle. (s. f.). MySQL. https://www.mysql.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[14] Oracle. (s. f.). MySQL Workbench. https://www.mysql.com/products/workbench/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[15] Oracle. (s. f.). What is Java?. https://www.java.com/en/download/help/whatis_java.html. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[16] Postman, Inc. (s. f.). Introduction to Postman. https://learning.postman.com/docs/getting-started/introduction/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[17] ProjectLibre, Inc. (s. f.). ProjectLibre – Project Management Software. https://www.projectlibre.com/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

[18] VMware. (s. f.). Spring Framework. https://spring.io/. Recuperado el 10 de julio de 2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Apoyo a la Elección de una Carrera Universitaria en Informática de la UNSL

**Paez, Braian Andrés (Autor)**
Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales

**Salgado, Carlos Humberto (Tutor)**
Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales

**Peralta, Mario Gabriel (Tutor)**
Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales

**Abstract**

*Este trabajo presenta el desarrollo de un asistente web con el fin de apoyar a estudiantes en la elección de una carrera informática de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales en la Universidad Nacional de San Luis desarrollado como Trabajo final, en la modalidad de Práctica de Investigación Supervisada, para la Licenciatura en Ciencias de la Computación. La propuesta surge ante la dificultad que enfrentan los estudiantes que finalizan sus estudios secundarios para identificar la opción académica más alineada con sus intereses y habilidades. El asistente web brinda un cuestionario de 16 preguntas que el estudiante calificará con puntaje del 1 a 10 y el asistente, mediante un algoritmo, que determina la carrera a sugerir en base al interés y preferencia del estudiante. La validación del asistente web se realiza aplicando el método de evaluación LSP. La arquitectura está compuesta por un front-end desarrollado con HTML, CSS, JavaScript y Bootstrap, y un back-end implementado en Java Spring Boot con base de datos MySQL. En cuanto al despliegue se realizó en Netlify y Render, permitiendo que sea accesible y de uso gratuito. Con el beneficio de que los nuevos estudiantes tengan mayor claridad y sea de su agrado a la hora de elegir una carrera informática*

**Palabras Clave:** Método multiatributos; Asistente digital; Orientación vocacional; Logic scoring preferences; Educación informática

## Introducción

En un mundo cada vez más digitalizado, las empresas requieren constantemente profesionales capacitados en áreas como la programación, la comunicación y la administración, solo por mencionar algunas. Hoy se hace oportuno estudiar carreras con base tecnológicas cuando se culmina con los estudios secundarios y se piensa en un futuro laboral.

En el departamento de informática de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) se dictan seis carreras que abarcan desde la orientación práctica profesional, como Ingeniería en Informática, Ingeniería en Computación, Tecnicatura Universitaria en Web y Tecnicatura Universitaria en Redes de Computadoras, hasta programas de grado con un enfoque teórico como Licenciatura en Ciencias de la Computación, con el título intermedio de Analista Programador Universitario y Profesorado en Ciencias de la Computación.

En la UNSL anualmente se lleva a cabo la oferta educativa de la institución, en ella cada facultad muestra las posibilidades que brindan sus carreras tanto de pregrado como de grado. En ella, se ha observado que muchos estudiantes que terminan la educación secundaria enfrentan dificultades al elegir una carrera informática, debido a la falta de claridad sobre sus intereses y las opciones educativas disponibles.

La solución que se propone es la implementación de un asistente web que integra un modelo de calidad, el cual puede ayudar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



a los estudiantes a definir mejor sus inquietudes e intereses al momento de elegir una carrera informática. El resultado esperado es que los estudiantes que utilicen este asistente y el modelo de calidad propuestos, tengan una mayor claridad y satisfacción en la elección de su carrera informática en comparación con aquellos que no lo utilicen.

Este asistente web podrá ser utilizado durante juntas de oferta educativa, en proceso de inscripción de la universidad o mediante cualquier dispositivo de forma remota a través del sitio web de la universidad permitiendo que los posibles estudiantes puedan obtener una orientación sin depender de la disponibilidad horaria de los orientadores.

Por otro lado, la herramienta almacena información como correo electrónico, edad, procedencia escolar, los resultados con los puntajes obtenidos en los cuestionarios de los estudiantes. Estos datos pueden ser utilizados por docentes o personal de orientación para analizar estadísticas, como identificar de qué instituciones académicas provienen los estudiantes y qué carreras eligen con mayor o menor frecuencia. Además, el sistema permite visualizar los cuestionarios individuales de cada estudiante, lo que facilita brindar una atención más personalizada y enfocada en sus necesidades e intereses.

El articulo está organizado de la siguiente forma, en la segunda sección se describe el método LSP [1] y cómo se diseño el cuestionario, en la tercera y cuarta sección se presenta el proceso de recomendación, también la cuarta sección describe la arquitectura general del asistente web, siguiendo en la cuarta hasta séptima sección se muestra un ejemplo de uso. Finalmente en la séptima y octava sección se exponen un caso de estudio junto a los trabajos relacionados y trabajos futuros del articulo.

## 1 Calidad

La calidad [2] se entiende como la capacidad de una herramienta, programa o proceso para cumplir de manera efectiva con sus objetivos, respondiendo a las necesidades de sus usuarios y garantizando resultados confiables.

En esta situación se planteo un modelo de calidad [2] con el fin de ayudar a los estudiantes a definir mejor sus inquietudes e intereses al momento de elegir una carrera informática. Este modelo cuenta integrado un cuestionario estructurado donde los resultados son evaluados por un algoritmo para determinar la carrera a sugerir.

Para verificar que el modelo cumpla con los objetivos establecidos, se seleccionó el método de evaluación LSP, debido a la flexibilidad y capacidad de manejar múltiples criterios con distintos grados de importancia.

## 2 Método LSP

LSP (Logic Scoring of Preferences) [1] es un método cuantitativo que permite la creación de funciones de criterios complejos, y su correspondiente aplicación en la evaluación, comparación y selección de sistemas de distintos tipos.

Para el modelo, cada carrera se representa mediante una estructura de agregación definida por el método LSP, en la que cada nodo hoja corresponde a las preguntas del árbol de requerimiento (ver sección sig), los nodos intermedios representan agrupaciones lógicas que permiten combinar características utilizando operadores de la lógica continua y el nodo raíz simboliza el valor global obtenido para la carrera. Para cargar los valores obtenidos de los cuestionarios de los estudiantes se utilizó la herramienta HeVaLog.

Para mas información sobre el método LSP ver [3] y [4].

## 3 Diseño del cuestionario

El cuestionario es el núcleo del asistente web, ya que es la principal fuente de información para, en bases a los gustos y preferencias del estudiante, poder sugerir una carrera adecuada. Su diseño se desarrollo en varias etapas, combinando análisis de perfiles académicos, recolección de datos y validación con docentes como estudiantes que ya estudiaban alguna carrera.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 3.1 Árbol de requerimientos

Como primera fase, para las seis carreras con base en informáticas y computación, se construyó el árbol de requerimientos en el que se reflejan los principales intereses de los estudiantes.

Las características se han agrupado de acuerdo a su aporte a los requerimientos de los estudiantes en cuanto refiere a los alcance y competencia de cada una de las carreras. En versión resumida seria:

(i) Programación (lenguajes y paradigmas), (ii) Formación teórico-práctica, (iii) Áreas de trabajo, (iv) Duración del programa y (v) Disponibilidad horaria.

### 3.2 Recolección de información a estudiantes

En la segunda fase, se elaboro un cuestionario de prueba que fue aplicado a estudiantes que ya cursaban las carreras. El objetivo del mismo era recolectar información para verificar la claridad de las preguntas, saber qué materias les gustaba y también pedir una opinión sobre a quién recomendaría su carrera elegida. Los resultados obtenidos sirvieron para refinar la redacción y la distribución de los criterios evaluados.

### 3.3 Cuestionario final

Finalmente, se diseño el cuestionario definitivo que actualmente utiliza el asistente web. Éste incluye dieciséis preguntas, donde las primeras catorce son preguntas que abarca sobre áreas informáticas específicas, tales como programación, hardware, redes, docencia o investigación y para medir la preferencia del estudiante mediante con una escala de valoración del 1 a 10, donde 1 indica interés mínimo y 10 el interés máximo, las últimas dos preguntas hacen referencia a la duración (que son 3, 4 y 5 años) y horarios ( que puede ser Tarde desde las 18hs o indistinto desde las 8hs). Cada pregunta se asocia a las características del árbol de requerimiento y cuenta con un peso específico según la relevancia para cada carrera. De esta manera, las repuestas son procesadas para obtener la carrera que se adecúa al estudiante mediante un algoritmo que permite determinar la misma. A continuación, la versión final del árbol de requerimiento incluido con las dieciséis preguntas, respetando las características del árbol de requerimiento.

1. Fase de Programación
   - 1.1. ¿Te interesaría aprender programación de alto nivel?
   - 1.2. ¿Te interesaría aprender programación de bajo nivel?
2. Fase de Formación
   - 2.1. Teórico Práctica (Teórica/Aplicada)
     - 2.1.1 ¿Te gustaría cursar materias que te preparen para enseñar informática en todos sus niveles?
     - 2.1.2 ¿Te gustaría cursar materias que te preparen para realizar investigación con fines científicos, como inteligencia artificial, compiladores, arquitecturas de PC, simulación, etc.?
   - 2.2. Práctica
     - 2.2.1 Software
       - 2.2.1.1 ¿Te interesaría aprender sobre materias dedicadas a la industria del software?
       - 2.2.1.2 ¿Te interesaría aprender sobre materias que tengan más aporte en WEB?
     - 2.2.2 Hardware
       - 2.2.2.1 ¿Te interesaría aprender sobre redes de computadoras, sistemas de comunicación, señales digitales, programación para redes, dispositivos de redes y muchas más materias enfocadas en redes?
       - 2.2.2.2 ¿Te gustaría aprender sobre materias que tengan

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



más aporte en la integración de hardware y software?

3. Fase de Trabajo
   - 3.1. ¿Te gustaría estudiar una carrera que se centre en la WEB?
   - 3.2. ¿Te gustaría estudiar una carrera que se centre en redes de computadoras?
   - 3.3. ¿Te gustaría estudiar una carrera que se centre en la industria del software?
   - 3.4. ¿Te gustaría estudiar una cerrera que se tenga un enfoque en el desarrollo que integre hardware y software?
   - 3.5. ¿Te gustaría estudiar una cerrera que tenga un enfoque en el área de investigación, pero también se pueda enfocar en otros roles?
   - 3.6. ¿Te gustaría estudiar una carrera que tenga un enfoque en el área de educación?
4. Duración
   - 4.1. 3 Años
   - 4.2. 4 Años
   - 4.3. 5 Años
5. Horarios
   - 5.1. Tarde: desde las 18 hs
   - 5.2. Indistinto: desde las 8 hs

## 4 Procedimiento de recomendación

El procedimiento de recomendación es una parte importante del asistente web, mediante un algoritmo permite transformar las repuestas del cuestionario en un resultado cuantitativo que refleja el interés del posible estudiante con cada una de las carreras.

El algoritmo sigue estos cuatro pasos:

1. **Normalización de puntajes.** Cada respuesta del estudiante contiene el puntaje de todas y cada una de las preguntas, originalmente en una escala de 1 a 10, se convierte a un valor entre 0.1 y 1 mediante:
$$s_i = \frac{r_i}{10}$$
donde $r_i$ es la puntuación dada a la pregunta $i$ y $s_i$ el valor normalizado.

2. **Cálculo de puntajes ponderados.** Cada pregunta pertenece a una fase del árbol de requerimientos y afecta de distinta manera a las posibles carreras. Denotemos por $w_{i,c}$ el porcentaje de aporte de la pregunta $i$ a la carrera $c$ (este porcentaje se puede visualizar en la tabla 1). Entonces el puntaje parcial para la carrera $c$ se acumula como:
$$P_c = P_c + s_i \times w_{i,c}$$
Cabe recordar que son seis carreras $c$ que vamos a denominar como LC = Licenciatura en Ciencias de la Computación, PC = Profesorado en Ciencias de la Computación, II = Ingeniería en Informática, IC = Ingeniería en Computación, TW = Tecnicatura Universitaria en Web, TR = Tecnicatura Universitaria en Redes de Computadoras. Así sucesivamente vamos aplicando estos pasos para todas las preguntas de 1 a 14.

3. **Filtrado por duración y horario.** Las preguntas 15 y 16 sirven para descartar carreras incompatibles:
   - *Pregunta 15 (Duración):*
     - Si elige “3 años”, sólo se conservan las puntuaciones de las tecnicaturas.
     - Si elige “4 años”, sólo se conserva el profesorado.
     - Si elige “5 años”, se conservan licenciaturas e ingenierías.
   - *Pregunta 16 (Horario):*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Si elige “desde las 8 am”, se restringe a las carreras de grado.
- Si elige “desde las 6 pm”, se restringe a las tecnicaturas.

Tras el filtrado, sólo quedan los puntajes de las carreras válidas según ambas respuestas.

4. **Selección de la carrera.** La carrera recomendada es aquella con el puntaje $P_c$ más alto:

$$\text{Carrera Aproximada} = \arg\max_c \; P_c$$

A continuación se muestra la tabla de ponderaciones:

| Pregunta | LC | PC | TW | TR | IF | IC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.40 | 0.30 | 0.60 | 0.00 | 0.60 | 0.40 |
| 2 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.20 |
| 3 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 |
| 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.40 |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| 9 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 0.00 |
| 12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 |
| 13 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 14 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

*Tabla 1: Coeficientes de ponderación $w_{i,c}$ según pregunta y carrera*

### 4.1 Ejemplo de cálculo:

Supongamos que un estudiante responde 10 en la pregunta 1. Entonces se realiza la conversión que quedaría:

$$s_1 = \frac{10}{10} = 1{,}0$$

Luego verificamos en la tabla 1 como afecta la puntuación en todas las carreras lo que obtendríamos en este caso:

$$\begin{aligned} P_{\text{LC}} &+= 1{,}0 \times 0{,}40 = 0{,}40, \\ P_{\text{PC}} &+= 1{,}0 \times 0{,}30 = 0{,}30, \\ P_{\text{TW}} &+= 1{,}0 \times 0{,}60 = 0{,}60, \\ P_{\text{TR}} &+= 1{,}0 \times 0{,}00 = 0{,}00, \\ P_{\text{IF}} &+= 1{,}0 \times 0{,}60 = 0{,}60, \\ P_{\text{IC}} &+= 1{,}0 \times 0{,}40 = 0{,}40. \end{aligned}$$

Se repite para cada pregunta y, tras aplicar el filtrado de duración y horario, la carrera con mayor $P_c$ es la recomendada.

De este modo, el procedimiento asegura que la recomendación no sea arbitraria, sino el resultado de un proceso sistemático, transparente y validado, en el que se integran tanto los intereses individuales como las características específicas de cada programa académico.

## 5 Arquitectura general del asistente web

Para la construcción del asistente web, se siguió un enfoque modular, de modo que cada componente cumple una función específica y se integra con el resto a través de interfaces bien definidas.

Se empleó el Lenguaje Unificado de Modelado (UML [5]) el cual nos permite visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema de software. En particular, se elaboraron:

- Diagramas de casos de uso [5]: muestra un conjunto de casos de uso, actores (aspirante, orientador) y relaciones. Un ejemplo de casos de uso es realizar test vocacional.
- Diagramas de clases [5]: describe el esquema para la base de datos.
- Diagramas de actividades [5]: permite visualizar las distintas actividades que se debieron llevar a cabo para explicar el armado del asistente web.

El sistema final adopta una arquitectura cliente-servidor, que se divide en:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Front-end: se refiere a la parte visible de un sitio web o aplicación con la que los usuarios pueden interactuar directamente. En este caso permite visualizar el cuestionario, validar datos antes del envió y mostrar la recomendación final. Desarrollado con HTML [6], CSS [6], Javascript [6] y Bootstrap [7].
- Back-end: contiene la lógica de negocio y el algoritmo de recomendación de carrera. Expone una API REST para recibir las respuestas desde el front-end, procesarlas y calcular los puntajes de las respuestas mediante el algoritmo. Desarrollado en Java [8] utilizando el framework Spring Boot [9].
- Base de datos: para el almacenamiento de datos se utilizó MySQL [10], registrando las preguntas con sus puntajes así como los resultados de cada usuario.
- Despliegue: El front-end se alojó en Netlify [11] para un acceso rápido y seguro desde cualquier navegador, mientras que el back-end se desplegó en Render [12], lo que asegura disponibilidad y escalabilidad del servicio. Por ultimó, para el despliegue de la base de datos se utilizó Clever Cloud [13]. Cabe destacar que todas las herramientas mencionadas son de uso gratuito.

## 6 Ejemplo de uso

En la siguiente sección, se describe un ejemplo de uso del asistente de apoyo a la Elección de una Carrera. Desde que un posible estudiante accede al asistente web hasta la obtención de la recomendación final o el administrador (orientador) visualiza los datos de los distintos resultados de varios aspirantes. Este proceso se diseñó con el objetivo de garantizar una experiencia sencilla, clara y se pueda acceder desde cualquier dispositivo para cualquier usuario, incluso sin conocimientos técnicos avanzados.

A continuación supongamos que un estudiante aún no ha decidido qué carrera informática cursar en la FCFMyN y desea recibir una recomendación basada en sus intereses. Se ilustraría de la siguiente manera:

### 6.1 Acceso al asistente web y completado del formulario

El estudiante ingresa al sitio web a través de un navegador. El front-end carga la interfaz principal, donde se presenta un cartel de bienvenida y un botón para empezar el test. Luego el estudiante completa un formulario básico con sus datos personales.

Al finalizar, se le presentan dos opciones:

- Opción 1: Realizar Test Vocacional: Consiste en realizar el cuestionario de las 16 preguntas y recibir una recomendación de una carrera en base a los intereses y preferencias del posible estudiante.
- Opción 2: Consultar por una carrera: El posible estudiante, ya puede tener pensada una carrera pero tiene ciertas dudas, esta opción permite que pueda brindar información sobre la carrera de interés y sobre de la institución a la que pertenece para que pueda seguir con el proceso.

### 6.2 Opción 1: Realizar Test Vocacional

Supongamos que el posible estudiante elige la opción 1:

Al seleccionar esta opción, el asistente web presenta un conjunto de 16 preguntas. Las primeras 14 deben ser calificadas por el estudiante en una escala del 1 al 10, según su nivel de interés en diversas temáticas informáticas. Las dos últimas preguntas requieren elegir la duración de la carrera deseada y el año en que desea comenzar.

A continuación, se muestra un ejemplo del proceso de respuesta de un estudiante, incluyendo la Pregunta 1 (Figura 1).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



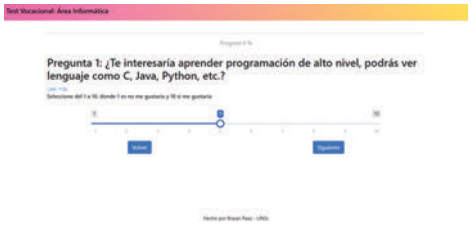



*Figura 1: Formulario: Pregunta 1*

#### 6.2.1. Envío de respuesta y generación de resultado

Una vez respondidas todas las preguntas, el asistente web recolecta las preguntas con los puntajes y opciones seleccionados para enviar al back-end mediante una solicitud HTTP hacia la API REST, el back end recibe los datos y mediante el algoritmo de recomendación de carreras, envía el resultado de la carrera hacia el front-end en formato JSON y aparece una ventana emergente que resume:

La carrera recomendada y una breve descripción de la misma (Ver Figura 2).




*Figura 2: Formulario: Resultado del asistente parte 1*

Si el estudiante acepta la recomendación, se le envía automáticamente un correo electrónico con información detallada de esa carrera. De lo contrario, puede repetir el cuestionario o explorar nuevamente el asistente web. La respuesta del estudiante es la información que nos servirá para el caso de estudio y saber si en las distintas escuelas de San Luis hay posibles estudiantes con interés de estudiar carreras informáticas y posiblemente brindar charlas e información al respecto.




*Figura 3: Formulario: Resultado del asistente parte 2*

### 6.3 Opción 2: Consultar por una carrera.

Al seleccionar esta opción, el estudiante accede a un catálogo completo de las carreras disponibles, con su plan de estudios, duración y requisitos. Ver Figura 4.

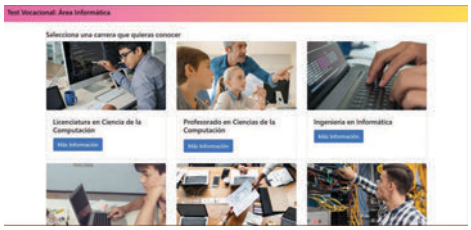



*Figura 4: Formulario: Consultar por una carrera*

Si alguna carrera es de su interés o tiene ciertas dudas, puede solicitar más información y recibirá un correo electrónico personalizado en base a sus datos.

### 6.4 Administrador u orientador

Por otro lado, el **rol del administrador u orientador** permite supervisar y gestionar toda la actividad del asistente web. Tras iniciar sesión, el administrador accede al menú principal. Ver Figura 5



*Figura 5: Rol del administrador*

Dentro de esta sección, se puede apreciar un dashboard que contiene un resumen de las estadísticas generales de uso y en el menú lateral se puede seleccionar las distintas funcionalidad, que incluye:

- **Resumen.** Estadísticas generales de uso.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Tablas**

  En este menú se listan las diferentes tablas generadas por la aplicación para visualizar y analizar los resultados obtenidos. Cada tabla permite filtrar, agrupar o seguir información relevante del cuestionario completado por los aspirantes, según distintos criterios.

- **Gráficos**

  En este menú se muestran representaciones visuales de los datos recolectados, permitiendo una interpretación más ágil de las tendencias y preferencias manifestadas por los aspirantes. Los gráficos permiten comparar agrupamientos según ubicación geográfica y procedencia institucional.

- **Generar Excel**

  Exportación de datos en formato .xlsx. Esta funcionalidad permite descargar los resultados registrados en formato de hoja de cálculo.

## 7 Caso de estudio: una muestra de estudiantes postulantes

En esta sección, se realizó un caso de estudio de manera simulada con objetivo de analizar si el asistente web podía orientar de manera efectiva a los posibles estudiantes y ofrecer resultados coherentes en bases a sus intereses y preferencia.

### 7.1 Procedimiento a la carga de datos

Una vez definidas las estructuras de agregación, se procedió a la carga de los valores obtenidos en las encuestas a los estudiantes. La misma se realizó sobre un dominio de 66 estudiantes. Estos valores (que se obtuvieron mediante procedimiento de recomendación descripto en la sección 4) se cargaron en las 6 estructuras de agregación, y así se determinó para cada estudiante cuál es la carrera que más se adecuaba según sus preferencias. Del análisis de los datos recolectados en la encuesta, se pudo observar que se obtuvieron resultados acordes a los esperados y hubo una amplia variación en las preferencias de los estudiantes respecto de las carreras ofrecidas. A partir de ello, la aplicación de la herramienta en la evaluación de estos resultados, permitió validar los mismos. Por razones de espacio, no se muestran los resultados totales de las evaluaciones.

### 7.2 Análisis de los datos

En la Tabla 2 y Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos por 12 de los 66 estudiantes evaluados mediante el modelo de agregación. Se incluyen los valores correspondientes de las seis carreras del Departamento de Informática: Tecnicatura Universitaria en Web (TUW), Tecnicatura Universitaria en Redes de Computadoras (TURC), Ingeniería en Informática (II), Ingeniera en Computación (IC), Licenciatura en Ciencias de la Computación (LCC) y Profesorado en Ciencias de la Computación (PC).

Cada celda contiene el valor agregado final para un estudiante respecto de cada carrera, calculado a partir de las ponderaciones y operadores definidos en el modelo de calidad basado en lógica de preferencias continua (LSP) definido en la sección 2. Estos valores se encuentran normalizados en el intervalo $[0, 1]$.

Los valores destacados en **negrita** indican el mayor valor obtenido por cada estudiante, lo que implica que, según el modelo, esa es la carrera recomendada para él o ella.

| Estudiantes | TUW | TURC | II |
|---|---|---|---|
| Estudiante 8 | 0.7247 | 0.6607 | 0.7641 |
| Estudiante 9 | 0.7088 | 0.6858 | 0.7098 |
| Estudiante 15 | 0.6823 | 0.7785 | 0.7891 |
| Estudiante 16 | 0.6836 | 0.7874 | 0.7681 |
| Estudiante 20 | 0.7671 | 0.6536 | **0.8359** |
| Estudiante 21 | 0.7905 | 0.6695 | **0.8337** |
| Estudiante 26 | 0.6943 | 0.6541 | 0.6838 |
| Estudiante 27 | 0.6570 | 0.5927 | 0.6699 |
| Estudiante 34 | 0.5907 | **0.6963** | 0.6555 |
| Estudiante 35 | 0.6669 | **0.7865** | 0.7262 |
| Estudiante 41 | **0.8223** | 0.6844 | 0.7987 |
| Estudiante 42 | **0.8234** | 0.6874 | 0.7994 |

*Tabla 2: Resultados con 12 estudiantes y 6 carreras (Parte 1).*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Estudiantes | IC | LCC | PCC |
|---|---|---|---|
| Estudiante 8 | 0.7315 | **0.8721** | 0.7998 |
| Estudiante 9 | 0.6965 | **0.8518** | 0.7851 |
| Estudiante 15 | **0.8394** | 0.7188 | 0.6203 |
| Estudiante 16 | **0.8268** | 0.6946 | 0.5656 |
| Estudiante 20 | 0.7600 | 0.6516 | 0.5581 |
| Estudiante 21 | 0.7685 | 0.6925 | 0.5862 |
| Estudiante 26 | 0.6743 | 0.7717 | **0.8630** |
| Estudiante 27 | 0.6530 | 0.7506 | **0.8319** |
| Estudiante 34 | 0.6791 | 0.5740 | 0.4794 |
| Estudiante 35 | 0.7753 | 0.6535 | 0.5365 |
| Estudiante 41 | 0.7779 | 0.6977 | 0.5630 |
| Estudiante 42 | 0.7777 | 0.7043 | 0.5985 |

*Tabla 3: Resultados con 12 estudiantes y 6 carreras (Parte 2).*

## 8 Trabajos Relacionados

Varios sistemas de orientación vocacional utilizan diversos cuestionarios e implementan diferentes herramientas para obtener un resultado para sugerir carreras acorde a los intereses y preferencias del estudiante, un trabajo conocidos es el Cuestionario de Intereses Profesionales (**CIP** [14]) desarrollado por Fogliato, Pérez, Olaz y Parodi (1990), el cual evalúa intereses generales agrupados en áreas ocupacionales amplias, mediante una lista actividades que clasifican como agradables, indiferentes o desagradables permitiendo brindar una respuesta sobre el posible área de estudio. Años más tarde, el CIP fue revisado y realizaron un ajuste al cuestionario denominada Cuestionario de Intereses Profesionales Revisado (**CIP-R** [14]) y se integró como un módulo específico en la nueva versión del Sistema de Orientación Vocacional Informatizado (**SOVI** [14]). El trabajo luego se aplicó a un amplio grupo de estudiantes, demostrando que es una herramientas de evaluación de intereses vocacionales validó, ya que permitió identificar perfiles de afinidad en función de áreas profesionales generales, contribuyendo así a orientar a los jóvenes en su decisión académica.

Otros trabajo conocido es el modelo de Holland (RIASEC [15]) desarrollada por John L. Holland (1950) que agrupa a las personas en seis tipos vocacionales (realista, investigativo, artístico, social, emprendedor y convencional) permitiendo identificar combinaciones de intereses que orientan hacia distintas áreas de la vocación. El mismo sirvió de cuestionario en herramientas como Self-Directed Search (SDS [16]) y el Vocational Preference Inventory (VPI [17]), los cuales permiten identificar combinaciones de intereses que orientan hacia áreas de estudios muy grandes.

Las herramientas mencionadas resultaron muy útiles pero al tratar de abarcar una amplia área ocupacional (como por ejemplo Cálculo, Científica, etc) y no se descienden a nivel de carreras Universitarias, ya que el área que abarca se extendería más, lo que es un limitante en cuanto a la selección de una carrera debido a que no se contemplaría las diferentes ofertas académicas ni las particularidades de cada Universidad.

En constrate, la propuesta Apoyo a la Elección de una Carrera Universitaria en Informática de la UNSL que utiliza el modelo de calidad presentado basado en el método de evaluación LSP permitiendo ponderar los intereses del estudiante y generar recomendaciones específicas entre las seis carreras del área de informática ofrecidas por la Universidad Nacional de San Luis, donde la informática ha tomado crecimiento a lo largo de los años surgiendo distintas especializaciones. Además, el asistente web puede ser cambiado a otras áreas para brindar sugerencia de carreras (Es una función que se quiere integrar a nivel de software a futuro).

## 9 Conclusiones y Trabajos Futuros

El proyecto surgió por la necesidad de acompañar a los estudiantes de nivel secundario que se han observado con dificultades al elegir una carrera del área de informática, debido a la falta de claridad sobre sus intereses y las opciones educativas disponibles.

Para dar una respuesta al problema observado, se propuso y desarrolló un sistema llamado Apoyo a la Elección de una Carrera Universitaria en Informática de la UNSL.

Los objetivos principales plateandos se han cumplido de manera satisfactoria. Debido a que se logró diseñar un cuestionario que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



está asociado a un árbol de requerimiento que abarca las seis carreras del área de informática que ofrece la FCFMyN de la UNSL, dicho cuestionario posee aspectos claves a la hora de elegir una carrera informática como tipo de programación, tipo de formación, tipo de trabajo, duración, horarios. A través de este modelo se ideó una forma de evaluar las respuestas del estudiante y sugerir una carrera en bases a sus interés.

Como conclusión, el proyecto brinda una repuesta al problema observado, mediante el marco teórico y práctico brindado por la UNSL y que el sistema está centrado para el estudiante.

Como trabajos futuros se propone:

- Optimizar la experiencia móvil.
- Incorporar una opción en el menú del administrador que permita crear o modificar el cuestionario haciendo que el sistema se pueda usar en otras áreas no solamente en la informática.
- Todo tipo de mejoras y cambios que sean necesarios para poder acompañar al estudiantes en sus inicios de estudiante universitario.

## Referencias

[1] A. Dasso, A. Funes, M. Peralta y C. Salgado. *Una Herramienta para la Evaluación de Sistema*. Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, WICC 2001, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina, 2001. (Visitado 05-2025).

[2] Mario G. Piattini, Félix O. García e Ismael Caballero. *Calidad de Sistemas Informáticos*. Alfaomega Grupo Editor, S.A, 2007. (Visitado 05-2025).

[3] J. J. Dujmovic. *A Method for Evaluation and Selection of Complex Hardware and Software Systems*. The 22nd International Conference for the Resource Management y Performance Evaluation of Enterprise Computing Systems, 1996. (Visitado 05-2025).

[4] J. J. Dujmovic y A. Bayucan. *Evaluation and Comparison of Windowed environments*. Proceedings of the IASTED International Conference Software Engineering (SE'97), 1997. (Visitado 05-2025).

[5] Grady Booch, James Rumbaugh e Ivar Jacobson. *El lenguaje Unificado de Modelado 2da edición*. PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2006. (Visitado 05-2025).

[6] J.D Gauchat. *El gran libro de HTML5, CSS3 y JavaScript*. Marcombo, S.A., 2017. (Visitado 05-2025).

[7] Bootstrap®. URL: `https://getbootstrap.com` (Visitado 05-2025).

[8] Java®. URL: `https://www.java.com/es/download/help/whatis_java.html` (Visitado 05-2025).

[9] Spring Boot®. URL: `https://spring.io/projects/spring-boot` (Visitado 05-2025).

[10] MySQL®. URL: `https://www.oracle.com/ar/mysql/what-is-mysql/` (Visitado 05-2025).

[11] Netlify®. URL: `https://docs.netlify.com/platform/what-is-netlify/` (Visitado 05-2025).

[12] Render®. URL: `https://render.com/about` (Visitado 05-2025).

[13] Clever Cloud®. URL: `https://www.clever-cloud.com/about/` (Visitado 05-2025).

[14] Hermelinda Fogliatto, Edgardo Pérez, Fabián Olaz y Luis Parodi. *Cuestionario de Intereses Profesionales Revisado (CIP-R)*. Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba, 2003. (Visitado 05-2025).

[15] John L. Holland. *Making Vocational Choices: A Theory of Vocational Personalities and Work Environments*. Psychological Assessment Resources, 1997. (Visitado 05-2025).

[16] A. R. Spokane y J. L. Holland. *The Self-Directed Search: A family of self-guided career interventions*. Journal of Career Assessment, 1995. (Visitado 05-2025).

[17] Nauta M. M. *The development, evolution and status of Holland's theory of vocational personalities: Reflections and future directions*. Journal of Counseling Psychology, 2010. (Visitado 05-2025).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Unboxing: Sistema para el diseño y la compra de packaging personalizado para emprendedores

**Cicerchia, Francisco - Gómez Abal, Lucio - Saban, Agustin - Saidman, Ezequiel Matias - Houli, Luna Yael**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*El diseño y la personalización de empaques representan un desafío recurrente para emprendedores y pequeñas empresas, ya que los servicios tradicionales suelen implicar altos costos, pedidos mínimos elevados y la necesidad de conocimientos técnicos especializados. Esta situación limita la capacidad de los negocios emergentes de diferenciarse y responder con agilidad a las demandas del mercado. Ante este escenario, el presente trabajo expone Unboxing, una plataforma web que simplifica la creación y visualización en tres dimensiones de empaques personalizados. El sistema permite a los usuarios cargar sus propios diseños, aplicarlos a distintos modelos de packaging, manipularlos en tiempo real y evaluar el resultado de manera interactiva. Con ello, se busca reducir barreras de acceso al diseño profesional, optimizar tiempos de aprobación y potenciar la competitividad de emprendedores y centros gráficos en entornos digitales.*

**Palabras Clave**

3D, Diseño, Packaging, Emprendedores, Personalización Online, UX, Plataforma Interactiva, UI, Flexible, Centros Gráficos.

## Introducción

En la actualidad, quienes emprenden se enfrentan al desafío de sobresalir en un mercado cada vez más competitivo, donde la experiencia del cliente es un factor decisivo para aportar valor a la marca y lograr su fidelización. Sin embargo, muchos emprendedores carecen de herramientas accesibles que les permitan previsualizar empaques personalizados antes de su producción, lo que genera demoras, encarece el proceso y limita el alcance de sus propuestas.

En la Argentina, el ecosistema emprendedor se caracteriza por una notable resiliencia frente a condiciones económicas adversas. Según el Informe de Emprendedores 2023 de la Cámara Argentina de Comercio y Servicios, el 46% de los emprendedores considera que la situación económica es uno de los principales obstáculos para el crecimiento de sus proyectos, mientras que un 28% señala la inestabilidad política como otro factor limitante. A pesar de ello, un 53% afirma estar más motivado que nunca a continuar emprendiendo, lo que refleja una capacidad de adaptación y perseverancia destacable. [1]

En Argentina, se estima que existen alrededor de 240.000 emprendimientos registrados, con una fuerte presencia en sectores como el comercio minorista, servicios personalizados, gastronomía, cosmética artesanal y productos de regalo [2]. Estos rubros son especialmente elegidos por emprendedores individuales o microempresas que buscan ofrecer productos físicos diferenciados, muchas veces con un enfoque local, sustentable o personalizado. La mayoría de estos emprendimientos están liderados por personas entre 26 y 55 años, con una alta concentración en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA).

La idea de Unboxing surgió tras una entrevista con la propietaria de un centro gráfico local, familiar de una integrante del equipo, quien describió la dificultad de generar ejemplos visuales para sus clientes de manera ágil. Esta experiencia se complementa con una investigación en foros y comunidades de emprendedores, donde se evidenció una demanda creciente por soluciones que combinen personalización y visualización en tiempo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



real, sin requerir conocimientos técnicos avanzados.

Aunque existen plataformas similares en el ámbito internacional, no se identificaron propuestas equivalentes orientadas al mercado argentino. Unboxing busca cubrir ese vacío, ofreciendo una herramienta web intuitiva que optimiza la comunicación entre emprendedores y centros gráficos, reduce los tiempos de aprobación de diseños y contribuye a ampliar las oportunidades comerciales en un entorno cada vez más competitivo.

Con este propósito, el proyecto se plantea diseñar y validar una plataforma que no solo permita la visualización de empaques personalizados en 3D, sino que también habilite a los usuarios a experimentar con formas, colores y logotipos de manera interactiva. La propuesta se completa al integrar un sistema de pagos y un backend capaz de organizar los pedidos, de modo que el proceso de compra sea ágil y seguro. Al mismo tiempo, la plataforma abre un espacio para que los centros gráficos incorporen y gestionen sus propios productos, generando así un ecosistema colaborativo que conecta la oferta y la demanda en un solo entorno digital.

La incorporación de tecnologías de visualización tridimensional ha transformado la manera en que los usuarios interactúan con productos digitales. Los entornos 3D favorecen la comprensión espacial, reducen la incertidumbre en la toma de decisiones y mejoran la usabilidad en tareas de diseño. Diversos estudios en el área de User Experience (UX) señalan que la manipulación en tiempo real de objetos 3D incrementa la sensación de control y satisfacción del usuario [3], aspectos fundamentales para las plataformas de personalización.

Adicionalmente, el modelo de marketplace digital ha sido ampliamente estudiado como mecanismo para conectar oferta y demanda en entornos descentralizados. Los marketplaces generan economías de escala y reducen los costos de transacción, permitiendo a múltiples proveedores acceder a mercados más amplios mediante una infraestructura común [4]. Esta situación evidencia un vacío en propuestas que combinen personalización avanzada, visualización 3D y un ecosistema de múltiples proveedores.

Tras definir la problemática, el trabajo comenzó con un relevamiento de requerimientos a partir de la entrevista y el análisis de la información recabada en los foros. Con estos datos se establecieron las funcionalidades esenciales: visualización 3D, rotación y escalado de modelos, carga de imágenes personalizadas y previsualización en tiempo real.

La arquitectura del sistema se diseñó sobre un frontend en React [5], utilizando Three.js [6] para la renderización de gráficos tridimensionales, y un backend en .NET [7] encargado de la gestión de datos, autenticación y almacenamiento seguro de diseños. Estas tecnologías se seleccionaron por su robustez, escalabilidad y compatibilidad multiplataforma, garantizando un acceso fluido desde cualquier navegador.

El desarrollo se llevó a cabo bajo un enfoque iterativo con metodologías ágiles, permitiendo validar tempranamente las funcionalidades y realizar mejoras continuas basadas en la retroalimentación de usuarios potenciales. Se implementó un prototipo que fue evaluado por emprendedores y representantes de centros gráficos, lo que permitió optimizar la usabilidad y el rendimiento.

La plataforma resultante posibilita que los usuarios carguen sus logotipos o imágenes, los apliquen sobre modelos 3D de empaques, modifiquen su tamaño y orientación, y visualicen el resultado antes de confirmar un pedido. Con ello, se busca no solo agilizar el proceso de aprobación de diseños, sino también

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mejorar la experiencia de compra, reducir el abandono de carritos en tiendas online y aumentar el atractivo visual de los productos para su difusión en redes sociales.

Además de resolver una necesidad concreta, Unboxing se posiciona como una propuesta innovadora que promueve la digitalización de procesos en el rubro gráfico, normalmente caracterizado por flujos manuales y comunicación fragmentada. Al integrar herramientas de visualización avanzada con funcionalidades de gestión comercial, la plataforma contribuye a modernizar la relación entre productores y clientes.

Este trabajo no solo aborda el desarrollo técnico de la solución, sino que también su impacto potencial en el ecosistema emprendedor argentino. Se plantea como un punto de partida para futuras mejoras métricas de conversión y análisis de comportamiento de usuario.

**Elementos del Trabajo y Metodología**

El equipo de investigación y realización de la solución se encuentra conformado por 5 integrantes. Cada uno desempeña al menos un rol específico dentro del proyecto. A continuación, se mencionan los roles de dicho proyecto:

- Analista de Sistemas (AF);
- Arquitecto de Sistemas (AS);
- Desarrollador Backend (BD);
- Desarrollador Frontend (FD);
- Especialista en control de Calidad (QC);
- Líder Técnico (LT);
- Product Owner (PO);
- Project Manager (PM);
- Sponsor (SP).

Cada uno de dichos roles ejerce responsabilidades específicas y trabaja de manera colaborativa con el resto del equipo.

En este trabajo se detallarán los requerimientos identificados para la solución mencionada, así como también la implementación de las funcionalidades claves que permiten alcanzar los objetivos del proyecto. Asimismo, se describen las características más relevantes de la solución, junto con los aspectos técnicos y las decisiones adoptadas para su despliegue.

**Definición de los Requerimientos**:

Luego de haber llevado a cabo un análisis exhaustivo de la problemática y del contexto de uso, los integrantes del equipo lograron identificar y definir un conjunto de requerimientos fundamentales que la solución debía contemplar para satisfacer las necesidades de los distintos actores involucrados. Estos son los requerimientos funcionales:

- Registro y autenticación de usuario: el sistema debe permitir la creación de cuentas de usuario, así como también la autenticación segura mediante el uso de credenciales, de esta manera garantizando la protección de la información personal y el acceso controlado a las funcionalidades de la plataforma.
- Carga de diseños personalizados o selección de plantillas prediseñadas: los usuarios deben tener la posibilidad de subir sus propios diseños e imágenes o, alternativamente elegir entre una amplia variedad de plantillas previamente definidas que puede ser libremente adaptadas a sus necesidades.
- Personalización libre de productos para realizar envíos: la solución debe ofrecer herramientas que permitan modificar los empaques,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



incluyendo la incorporación de elementos gráficos, textos y ajustes de formato, con el objetivo de personalizar los productos antes de ser enviados o solicitados para impresión.

- Visualización interactiva del packaging en 360°: se utiliza un editor y visualizador tridimensional que permite al usuario explorar el empaque desde cualquier ángulo, brindando una representación realista e interactiva del diseño aplicado sobre el modelo.
- Descarga o solicitud de archivos listos para impresión: el sistema deberá generar archivos en formatos previamente definidos para impresión profesional, los cuales podrán ser descargados por el usuario o enviados directamente a un centro gráfico para su producción.
- Solicitud de impresión a centros gráficos adheridos: la plataforma debe facilitar la conexión entre usuarios y centros gráficos registrados, permitiendo la solicitud directa de impresión y seguimiento del estado del pedido desde la misma interfaz.

**Patrones de diseño aplicados en la solución.**

En el desarrollo de Unboxing se incorporaron patrones de diseño que favorecen la modularidad, el mantenimiento y la escalabilidad del sistema. Entre los más relevantes se encuentran los llamados Observer y Dependency Injection, aplicados en diferentes capas de la solución.

En el caso del patrón Observer (Publicador/Suscriptor), se implementó en el editor de productos para gestionar de forma desacoplada las interacciones del usuario. Cada acción realizada, como aplicar negrita a un texto o agregar una imagen, genera un evento que es capturado por un componente central encargado de la lógica del editor. Este componente se encuentra suscrito a todos los eventos posibles y, al recibir uno, determina el elemento actualmente seleccionado y aplica la transformación solicitada.

Por otra parte, el patrón Dependency Injection se empleó como práctica estándar en el desarrollo de las APIs con .NET. Este patrón permite que los módulos del sistema dependan de interfaces, en lugar de implementaciones concretas, reduciendo el acoplamiento y facilitando la sustitución o ampliación de funcionalidades.

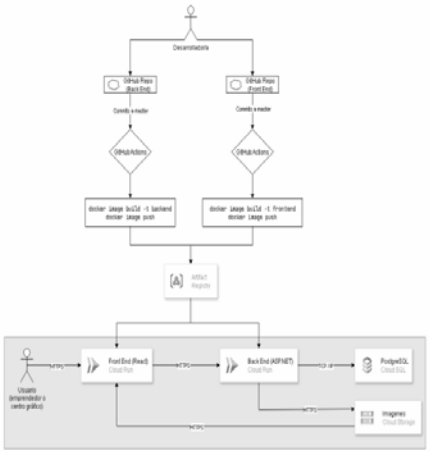


*Figura 1 Diagrama de arquitectura general de la solución.*

**Metodologías utilizadas para resolver los requerimientos.**

Para resolver los requerimientos identificados, se adoptó un enfoque iterativo basado en metodologías ágiles, particularmente Scrum [8]. Este marco de trabajo permitió organizar el desarrollo en ciclos cortos de entrega, priorizando las funcionalidades de mayor impacto y validando cada avance con usuarios potenciales. La recolección inicial de requisitos se llevó a cabo mediante una entrevista con la propietaria de un centro gráfico, complementada con la investigación en foros y comunidades de emprendedores, lo que permitió comprender de manera directa las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



necesidades reales del mercado. A partir de esa información se definió un backlog de funcionalidades, que incluyó la visualización tridimensional de empaques, la posibilidad de rotarlos y escalarlos, la carga de imágenes personalizadas y la previsualización en tiempo real. Este enfoque ágil facilitó la adaptación a cambios en los requerimientos y aseguró la entrega incremental de valor en cada iteración.

**Módulos y componentes de la solución**

La solución desarrollada se compone de una arquitectura modular que integra distintos componentes tecnológicos y funcionales, permitiendo una experiencia fluida tanto para los emprendedores como para los centros gráficos. El sistema se articula en torno a una plataforma central denominada Unboxing, que actúa como intermediario entre los distintos actores: emprendedor, centro gráfico y el propio sistema.

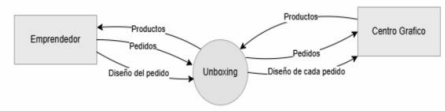



*Figura 2 Diagrama de contexto de la solución.*

En el frontend, se utilizó React como framework principal, incorporando la librería Three.js para el renderizado tridimensional. Esto permite ofrecer un visor interactivo que facilita la personalización visual de los empaques. Los usuarios pueden aplicar logotipos o imágenes sobre los modelos 3D, ajustar su tamaño y orientación, y visualizar el resultado en tiempo real, mejorando significativamente la experiencia de diseño.

El backend se desarrolló en .NET y se encarga de la gestión de usuarios, la autenticación, el almacenamiento de datos y la comunicación con la base de datos, que guarda la información relacionada con los centros gráficos, los productos publicados y los modelos disponibles.

Además, se incorporó un módulo de marketplace, que permite a cada Centro Gráfico publicar sus propios modelos de empaques, gestionar pedidos y recibir diseños directamente desde la plataforma. Esta funcionalidad no solo automatiza el flujo de trabajo, sino que también amplía el alcance comercial de cada centro gráfico, permitiéndoles conectar con emprendedores de manera directa.

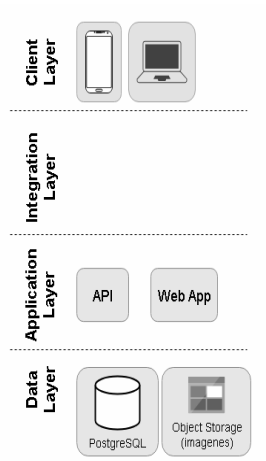



*Figura 3 Diagrama de capas de la solución.*

**Despliegue de la solución**

El despliegue se ha diseñado bajo una arquitectura basada en contenedores y servicios cloud. El objetivo principal de esta estrategia es garantizar la escalabilidad, confiabilidad y eficiencia en el uso de recursos, aspectos fundamentales en las etapas iniciales de un producto digital orientado a emprendedores y centros gráficos.

Para la implementación del sistema, se optó por un esquema de integración y despliegue continuo (CI/CD) soportado por GitHub Actions. Cada componente, tanto el Front End como el Back End, se gestiona en repositorios independientes. Ante cada commit en el repositorio, el pipeline construye las imágenes correspondientes mediante Docker y las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



publica en el repositorio centralizado llamado Artifact Registry, garantizando versiones consistentes y fácilmente replicables en distintos entornos.

El despliegue de los servicios se realiza en Google Cloud Run, aprovechando su naturaleza serverless y la capacidad de "escalado a cero". Este enfoque permite optimizar los costos operativos, ya que los contenedores solo se ejecutan en respuesta a solicitudes activas, apagándose automáticamente en períodos de inactividad. De esta forma, el sistema mantiene una disponibilidad transparente para los usuarios, al mismo tiempo que asegura eficiencia económica y flexibilidad ante variaciones en la demanda.

Respecto al almacenamiento de datos, se utilizaron diferentes soluciones en función de la naturaleza de la información. Por un lado, los registros transaccionales se gestionan en PostgreSQL Cloud SQL, lo que asegura integridad y consistencia. Por otro lado, las imágenes cargadas por los usuarios se almacenan en Google Cloud Storage, dado que este tipo de servicio está optimizado para el manejo de archivos. Esta separación evita sobrecargar la base de datos con objetos binarios y permite que el Front End acceda a las imágenes directamente a través de sus URL públicas, reduciendo el tráfico innecesario en la API y mejorando la experiencia de usuario.

En conjunto, esta arquitectura no solo habilita un despliegue ágil y robusto, sino que también sienta las bases para la futura evolución de la plataforma. Las elecciones antes mencionadas proporcionan un marco flexible, capaz de adaptarse tanto a las necesidades actuales de emprendedores y centros gráficos como a un crecimiento sostenido en escenarios de mayor escala.

**Trabajos Relacionados**

En el ámbito internacional existen plataformas que permiten personalizar productos a partir de modelos 3D de manera sencilla e intuitiva, sin requerir conocimientos técnicos avanzados. Sin embargo, la mayoría están enfocadas en mercados extranjeros y vinculadas a servicios de impresión específicos, lo que limita su adopción en otros contextos.

En el mercado argentino no se identificaron soluciones equivalentes que ofrecen personalización en tiempo real de empaques con visualización tridimensional y que, además, permitan a distintos centros gráficos publicar y gestionar sus propios productos. Unboxing incorpora esta funcionalidad con un enfoque similar al de un marketplace, donde cada centro gráfico puede cargar su catálogo de empaques y recibir pedidos directamente desde la plataforma. Esta característica, combinada con la personalización visual en tiempo real, representa una propuesta diferenciadora en el contexto local.

**Resultados**

En la etapa actual del proyecto se logró implementar un prototipo funcional de la plataforma Unboxing, que incluye las siguientes funcionalidades centrales: carga de logotipos o imágenes propias, aplicación sobre modelos tridimensionales de empaques y manipulación en tiempo real mediante rotación y escalado. Las pruebas preliminares realizadas con emprendedores y un centro gráfico local confirmaron que la herramienta facilita la previsualización de productos y reduce la necesidad de intercambios constantes entre cliente y proveedor.

Los participantes destacaron la sencillez de la interfaz y la rapidez para obtener representaciones visuales del packaging, lo que les permitió tomar decisiones de diseño con mayor seguridad. La experiencia de usuario fue evaluada mediante un Cuestionario de Usabilidad del Sistema (SUS), obteniendo una puntuación promedio de 85/100. Este valor indica un nivel de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



usabilidad excelente y una alta aceptación de la interfaz. A su vez, se registró una reducción promedio del 40% en el tiempo transcurrido desde la solicitud inicial del diseño hasta la aprobación final, en comparación con el flujo de trabajo tradicional, basado en el intercambio de correos electrónicos.

Por otro lado, se verificó la viabilidad técnica de integrar múltiples centros gráficos en un esquema de marketplace, permitiendo que cada uno publique sus propios catálogos dentro de la plataforma. El rendimiento se mantuvo estable, con un tiempo de carga promedio para el visualizador 3D de 1.8 segundos en conexiones de banda ancha estándar. Las operaciones de rotación y escalado de los modelos se ejecutaron con una latencia inferior a 50 ms, garantizando una interacción fluida.




*Figura 4 Diseñador 3D.*

Cabe aclarar que, si bien todas las funcionalidades principales ya fueron desarrolladas, aún restan tareas de integración y de refinamiento del diseño visual de la interfaz. Por lo tanto, los resultados actuales corresponden a una versión en proceso, pero con un avance significativo que valida la factibilidad de la propuesta.

**Discusión**

Los resultados alcanzados hasta el momento evidencian que Unboxing responde de manera efectiva a una necesidad concreta del mercado argentino: la ausencia de plataformas accesibles para la personalización y visualización en 3D de empaques. A diferencia de las soluciones internacionales, que suelen estar ligadas a servicios de impresión específicos, esta propuesta plantea un modelo abierto donde cualquier centro gráfico puede cargar sus productos, generando un espacio colaborativo con lógica de marketplace.

Desde el punto de vista técnico, la combinación de React para el frontend y .NET para el backend ha demostrado ser adecuada para lograr una arquitectura escalable, segura y compatible con diferentes dispositivos. En las pruebas con usuarios, la simplicidad de la interacción se destacó como un factor clave, ya que permitió que emprendedores sin conocimientos técnicos avanzados pudieran utilizar la plataforma sin dificultad.

No obstante, el proyecto todavía requiere finalizar la optimización del diseño visual de la interfaz, aspecto que resulta crítico para garantizar una experiencia de usuario atractiva y consistente. Estos desafíos abren la oportunidad de continuar validando la herramienta con un grupo más amplio de usuarios y de medir su impacto cuantitativo en métricas de negocio, como la reducción de tiempos de aprobación de diseños o la mejora en la conversión de ventas en entornos digitales.

Asimismo, la escalabilidad de la plataforma representa un desafío técnico, especialmente en escenarios de alta concurrencia. El uso de servicios serverless como Cloud Run proporciona una base sólida, pero la creciente cantidad de usuarios y recursos multimedia podría requerir la implementación de balanceadores de carga dedicados, bases de datos particionadas y mecanismos de monitoreo avanzado de métricas de rendimiento. De igual manera, el sistema necesitará pruebas de estrés y validaciones de seguridad a medida que se expandan sus funcionalidades.

La integración con sistemas externos, como servicios de pago o de logística,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



puede introducir dependencias adicionales y riesgos de compatibilidad. Para mitigar estos riesgos, se plantea el uso de APIs estandarizadas, arquitectura orientada a microservicios y pruebas de integración continua dentro del pipeline de CI/CD existente.

**Conclusión**

La necesidad de contar con herramientas ágiles para personalizar y visualizar empaques en tiempo real es una realidad creciente para emprendedores y centros gráficos. Este proyecto aborda esa carencia mediante una plataforma web que combina facilidad de uso, visualización 3D y un modelo de marketplace que habilita a múltiples proveedores a ofrecer sus productos en un mismo espacio.

El desarrollo actual demuestra que es posible integrar tecnologías modernas como React y .NET para ofrecer una experiencia interactiva y adaptable a distintos dispositivos, generando un entorno en el que, el cliente pueda tomar decisiones más rápidas y con mayor certeza visual. Esta capacidad no solo reduce los tiempos de aprobación, sino que abre la puerta a nuevas dinámicas de trabajo y modelos de negocio en el sector gráfico.

El impacto potencial de Unboxing trasciende la simple personalización: representa una oportunidad para modernizar el vínculo entre productores y consumidores, fomentar la competitividad en el mercado argentino y acercar soluciones digitales a pequeños negocios que antes dependían de procesos manuales y lentos.

En las próximas etapas se prevé ampliar el catálogo de modelos, incorporar herramientas avanzadas de edición y ofrecer integración con plataformas de e-commerce y sistemas de impresión. Esto permitirá cubrir un espectro más amplio de necesidades y fortalecer la propuesta de valor frente a competidores internacionales. Además, se proyecta la incorporación de técnicas de inteligencia artificial para mejorar el proceso de personalización a través de sugerencias automáticas de diseño. Mediante el uso de modelos de aprendizaje automático entrenados con patrones visuales, combinaciones de colores, tipografías y preferencias de usuarios anteriores, la plataforma podría generar propuestas iniciales de diseño o recomendar ajustes estéticos en tiempo real. Este enfoque permitiría reducir la carga cognitiva del usuario, acelerar la toma de decisiones y elevar el nivel de personalización sin requerir conocimientos avanzados de diseño gráfico.

Unboxing no es solo una herramienta tecnológica, sino una invitación a repensar cómo se diseñan, presentan y comercializan los empaques en la era digital argentina.

**Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por su valiosa colaboración en la realización de nuestra idea. Sus aportes y recomendaciones fueron esenciales para el desarrollo del proyecto, y de gran importancia para alcanzar nuestros objetivos.

**Referencias**

[1] Oportunidades y Desafíos para los Emprendedores Argentinos en 2025 - https://www.memo.com.ar/opinion/oportunidades-y-desafios-para-los-emprendedores-argentinos-en-2025/

[2] Emprendedores planean aumentar sus inversiones en 2025 pero piden mejorar el acceso a financiamiento - https://www.infobae.com/economia/2024/12/02/emprendedores-planean-aumentar-sus-inversiones-en-2025-pero-piden-mejorar-el-acceso-a-financiamiento/

[3] Hassenzahl, M. (2018). User Experience and Experience Design. The Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2nd Ed.

[4] Evans, D. & Schmalensee, R. (2016). Matchmakers: The New Economics of Multisided Platforms. Harvard Business Review Press.

[5] React – A JavaScript library for building user interfaces. Disponible en: https://react.dev/

[6] Three.js – JavaScript 3D Library. Disponible en: https://threejs.org/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[7] Microsoft .NET – Framework para desarrollo de aplicaciones. Disponible en: https://dotnet.microsoft.com/

[8] Scrum Guide – The Definitive Guide to Scrum. Disponible en: https://scrumguides.org/

**Datos de contacto**

*Francisco Cicerchia, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. fcicerchia@frba.utn.edu.ar*

*Lucio Gomez Abal, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. lgmezabal@frba.utn.edu.ar*

*Agustin Saban, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. asaban@frba.utn.edu.ar*

*Ezequiel Matias Saidman, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. esaidman@frba.utn.edu.ar*

*Luna Yael Houli, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. lhouli@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ZonAR: Un sistema para modernizar la gobernanza ambiental urbana en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

**Caruso, Abril Belén; Gobbi, Micaela Nicole; Hidalgo, Mora Sofía; Montenegro Aguilar, Gabriel Damián**
***Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*La contaminación acústica es uno de los problemas ambientales menos visibilizados en los entornos urbanos, aunque constituye la segunda causa ambiental de afecciones en la salud según la Organización Mundial de la Salud, solo detrás de la contaminación atmosférica. En este marco, se presenta ZonAR, un sistema de monitoreo y gestión del ruido urbano que integra sensores de bajo costo, transmisión de datos en tiempo real, procesamiento en la nube y visualización interactiva. Su objetivo es proveer información continua y accesible que permita a autoridades, urbanistas y ciudadanía comprender la dinámica sonora de la ciudad, configurar alertas y orientar decisiones hacia un desarrollo urbano más sostenible. En esta primera etapa se implementó un prototipo piloto con un único sensor, validando la factibilidad técnica del sistema y sentando las bases para su futura expansión a escala metropolitana.*

**Palabras Clave**
Contaminación acústica, ciudades inteligentes, monitoreo ambiental, IoT, urbanismo acústico, participación ciudadana, sostenibilidad urbana.

## Introducción

La contaminación acústica se define como la presencia de ruidos o vibraciones que, por su intensidad, frecuencia o duración, pueden resultar molestos o perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente [1]. Este fenómeno, frecuente en las grandes urbes, ha sido reconocido por la Organización Mundial de la Salud como uno de los principales riesgos ambientales para la salud, afectando tanto la calidad de vida como el rendimiento cognitivo, el descanso y la salud cardiovascular de la población [2,3].

La magnitud de este impacto ha sido cuantificada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), que estima que la exposición crónica al ruido ambiental es responsable de aproximadamente 48.000 nuevos casos de cardiopatía isquémica y 12.000 muertes prematuras cada año en Europa [4]. Estas cifras reflejan no solo el carácter omnipresente del ruido urbano, sino también su condición de amenaza silenciosa para la salud pública y la sostenibilidad urbana.

En el contexto urbano, el monitoreo de los niveles de ruido suele verse limitado por la escasa cantidad de estaciones fijas y la ausencia de información en tiempo real, dificultando la elaboración de políticas públicas basadas en datos confiables. Asimismo, la planificación urbana y la toma de decisiones requieren herramientas que no solo recojan datos, sino que permitan analizarlos, visualizarlos y comunicarlos de forma efectiva a los distintos actores involucrados: autoridades, urbanistas, investigadores y ciudadanía [5,6].

En este marco, surge ZonAR, un sistema integral de gestión y monitoreo de ruido urbano, desarrollado en el marco de la cátedra de “Proyecto Final” (quinto año de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, Universidad Tecnológica Nacional), con el objetivo de dotar a la ciudad de una red de sensores distribuidos, un backend robusto y una interfaz interactiva que facilite el acceso y análisis de datos. ZonAR integra tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), procesamiento en la nube y visualización geoespacial para generar un mapa vivo del ruido en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La propuesta no solo busca caracterizar y cuantificar la contaminación acústica, sino también habilitar la generación de alertas personalizadas, la producción de reportes automáticos y la participación ciudadana en la validación y discusión de los datos. Para cumplir con este objetivo, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en la primera sección, se presenta el concepto y la relevancia de la contaminación acústica; en la segunda, se describe la arquitectura y componentes de ZonAR; en la tercera, se detallan sus aplicaciones y beneficios; y en la cuarta, se presentan las conclusiones y líneas futuras de trabajo.

**1. Contaminación acústica y su impacto urbano**

La contaminación acústica es un tipo de polución ambiental caracterizada por la presencia de niveles de ruido que superan los límites establecidos por normativas locales e internacionales, afectando de manera directa o indirecta la salud y el bienestar de las personas [1]. Según la Organización Mundial de la Salud, una exposición prolongada a niveles superiores a 65 dB puede provocar efectos adversos en la salud, incluyendo trastornos del sueño, pérdida de audición, estrés, problemas cardiovasculares y disminución del rendimiento cognitivo [2,3].

En las áreas urbanas, las principales fuentes de contaminación acústica incluyen el tránsito vehicular, el transporte ferroviario y aéreo, la actividad industrial, las obras en construcción, y eventos recreativos o comerciales. Este fenómeno no solo tiene implicancias sanitarias, sino que también repercute en el valor inmobiliario, la calidad de vida y la percepción de seguridad en los barrios [5].

En las últimas décadas, el crecimiento de la población en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que supera los 3 millones de habitantes y asciende a más de 6 millones si se considera el Área Metropolitana en su conjunto, y la densificación urbana han intensificado la exposición al ruido ambiental, al mismo tiempo que la infraestructura de monitoreo no ha evolucionado con la misma velocidad. De acuerdo con el último informe de la Agencia de Protección Ambiental, más del 80% de la población porteña está expuesta a niveles de ruido superiores a los 65 dB durante el día, valor que excede las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud [1,14]. La mayoría de las ciudades cuenta con un número limitado de estaciones fijas, lo que dificulta obtener un panorama completo y actualizado de la situación acústica [6].

Desde el punto de vista ambiental y urbanístico, la contaminación acústica es un factor que condiciona el diseño de espacios públicos, la planificación del transporte y las políticas de uso del suelo. Sin una medición continua y georreferenciada, las acciones para mitigar el ruido suelen ser reactivas y poco efectivas, centradas únicamente en zonas críticas conocidas y dejando sin atender otras áreas con problemas emergentes [7].

En este escenario, la incorporación de redes de sensores distribuidos y sistemas inteligentes de análisis, como el propuesto por ZonAR, permite ampliar la cobertura de mediciones, disponer de datos en tiempo real y generar información procesable para la toma de decisiones. La digitalización y automatización del monitoreo son, por lo tanto, un paso clave para que las ciudades avancen hacia un modelo de urbanismo acústico, donde el control del ruido forme parte integral de la planificación y el desarrollo sostenible.

Asimismo, estudios recientes en la Ciudad de Buenos Aires revelan la dimensión social y sanitaria del problema. Según una encuesta realizada por la Fundación Ciudad, el 53% de los habitantes reportó interrupciones de su sueño a causa del ruido, pese a que la OMS recomienda que los niveles nocturnos fuera de los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



dormitorios no superen los 40 dB [1,3,14,16]. La privación del sueño no solo deteriora el rendimiento cognitivo y el estado de ánimo, sino que también debilita el sistema inmunológico y aumenta el riesgo de obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares [3].

La percepción ciudadana confirma esta realidad: ocho de cada diez porteños consideran que la ciudad es "ruidosa", y tres de cada diez la califican directamente como "totalmente ruidosa". Además, el 87% de los encuestados reconoce efectos negativos en su humor, el 84% en su calidad de vida, y el 73% en su salud física [16]. En conjunto con la evidencia europea, que estima en 6,5 millones las personas afectadas por alteraciones graves y crónicas del sueño debido al ruido [3], estos datos subrayan que la contaminación acústica no es un factor aislado, sino un estresor sistémico con repercusiones sanitarias, económicas y sociales de gran alcance.

## 2. ZonAR como propuesta tecnológica

En esta sección se describe el diseño y funcionamiento del sistema ZonAR, destacando las tecnologías implementadas y sus beneficios. En primer lugar (sección 2.1), se presenta la visión general del sistema y sus componentes. Luego (sección 2.2), se detalla su funcionamiento y las facilidades que ofrece para el monitoreo acústico en entornos urbanos.

### 2.1 Visión general del sistema y componentes

ZonAR es una solución integral que combina medición ambiental, procesamiento de datos y visualización interactiva para monitorear en tiempo real los niveles de ruido urbano.

En su versión actual de prototipo, el sistema cuenta con un único sensor en funcionamiento, basado en microcontroladores ESP32. Este dispositivo, ampliamente utilizado en proyectos de Internet de las Cosas (IoT), se destaca por su conectividad Wi-Fi y Bluetooth integradas, bajo consumo energético y capacidad de procesamiento [8]. El sensor está equipado con un micrófono de alta sensibilidad, capaz de registrar niveles de presión sonora (dB), junto con la ubicación geográfica y la marca temporal de cada medición.

El diseño contempla la escalabilidad hacia una red distribuida en toda la ciudad. Para ello, se prevé la transmisión de datos bajo dos modalidades: conexión Wi-Fi en entornos con cobertura estable, y LoRa (Long Range), un protocolo de comunicación inalámbrica de baja potencia y largo alcance ideal para redes de sensores en grandes áreas urbanas [9].

La información recolectada es enviada a un servidor central desarrollado en Java Spring Boot, un framework ampliamente utilizado en el ámbito empresarial por su escalabilidad, modularidad y capacidad de integración con bases de datos y servicios externos [10]. Allí, los datos son validados y almacenados en una base optimizada para consultas geoespaciales, y posteriormente procesados para generar indicadores como promedios horarios, máximos registrados y tendencias históricas. Con esta base, el sistema habilita un módulo de alertas configurables, que permite notificar a los usuarios sobre episodios de ruido elevado y, al mismo tiempo, integrarse con la planificación de trayectos para sugerir rutas alternativas que eviten zonas de mayor impacto acústico en tiempo real.
La visualización de los resultados se realiza a través de una aplicación web y móvil desarrollada con Flutter, un framework de código abierto creado por Google que permite compilar aplicaciones nativas para múltiples plataformas desde una única base de código, ofreciendo alta eficiencia y una interfaz de usuario moderna [11]. El mapa interactivo utiliza datos de OpenStreetMap para mostrar las zonas con códigos de color según el nivel de ruido y provee

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



herramientas para filtrar por fecha, generar reportes y configurar alertas personalizadas.

La interacción entre estos componentes puede observarse en la Figura 1, donde se esquematiza la arquitectura de software de ZonAR y la manera en que el sensor de ruido se comunica con el backend, la base de datos y la aplicación de usuario.

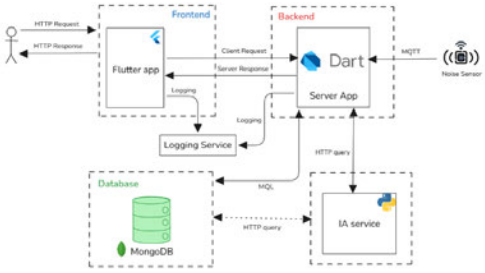



**Figura 1.** *Arquitectura de software de ZonAR.*

**2.2 Funcionamiento y facilidades para el monitoreo acústico**

El flujo operativo de ZonAR sigue un ciclo continuo: los sensores realizan la captura de datos acústicos, los transmiten al servidor, y en pocos segundos la información procesada está disponible para consulta en la aplicación. Este enfoque permite pasar de un monitoreo esporádico y limitado a un seguimiento continuo y distribuido, lo que facilita intervenciones preventivas antes de que el problema acústico escale.

Entre las principales facilidades que ofrece el sistema se destacan:

- Cobertura ampliada: la instalación de múltiples sensores en diferentes puntos de la ciudad supera la limitación de las estaciones fijas convencionales.

- Información en tiempo real: las decisiones pueden tomarse de manera rápida y basada en datos actualizados.

- Acceso abierto y transparente: los niveles de ruido y reportes generados están disponibles para autoridades y ciudadanía.

- Participación ciudadana: los usuarios pueden reportar incidencias acústicas y validar datos, fomentando la colaboración social.

Con esta propuesta, ZonAR no solo mide y registra datos, sino que promueve un modelo de urbanismo acústico inteligente, donde la gestión del ruido se convierte en un eje estratégico para la planificación y el desarrollo sostenible de la ciudad.

**3. Aplicaciones y beneficios de ZonAR**

En esta sección se describe el alcance funcional de ZonAR y su aporte a la gestión urbana. En primer lugar (sección 3.1), se detalla su aplicación en el ámbito del urbanismo acústico y la planificación de la ciudad. Luego (sección 3.2), se presenta su utilidad como herramienta de participación ciudadana y educación ambiental.

**3.1 Urbanismo acústico y planificación urbana**

La información precisa y georreferenciada que puede generar ZonAR representa una base objetiva para la toma de decisiones en políticas urbanas. El urbanismo acústico se centra en incorporar la variable sonora dentro de la planificación territorial, diseñando entornos que reduzcan la exposición de la población a niveles de ruido excesivo [12]. Un 26% de los residentes de la Ciudad de Buenos Aires, lo que equivale a unas 806.000 personas, se encuentran expuestos a niveles de ruido nocturno superiores a 55 dBA, según el Informe Anual Ambiental del Gobierno de la Ciudad [17]. Este valor supera ampliamente el umbral de 40 dBA recomendado por la OMS para garantizar un sueño reparador, lo que evidencia la magnitud del impacto acústico en la salud y el descanso de la población urbana.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Si bien en la actualidad se cuenta con un prototipo de un único sensor, los resultados iniciales evidencian que, al escalar la red, ZonAR permitiría identificar zonas críticas a partir de mediciones reales y no solo de estimaciones o denuncias vecinales. Asimismo, podría evaluar el impacto acústico de obras públicas, eventos o modificaciones en el tránsito vehicular antes, durante y después de su ejecución [13], y servir como insumo para priorizar intervenciones tales como la instalación de barreras acústicas, cambios en las rutas de transporte o ajustes en la zonificación urbana.

La Figura 2 muestra un ejemplo de visualización de los niveles de ruido en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires dentro de la aplicación móvil de ZonAR. Allí pueden observarse áreas con diferente intensidad sonora representadas mediante un código de colores, lo que permite identificar zonas críticas y orientar la toma de decisiones en la planificación urbana.




**Figura 2.** *Ejemplo de visualización de niveles de ruido en la aplicación ZonAR.*

A futuro, el sistema también posibilitará generar reportes periódicos para organismos de control y para la ciudadanía, fortaleciendo los principios de transparencia y acceso a la información [14]. De este modo, las políticas de mitigación del ruido dejarían de ser reactivas y se volverían proactivas, anticipándose a los problemas en lugar de limitarse a atender sus consecuencias.

### 3.2 Participación ciudadana y educación ambiental

Uno de los aspectos diferenciales de ZonAR es su concepción como un sistema abierto a la comunidad. A través de la aplicación, los usuarios no solo podrán visualizar datos en tiempo real, sino también reportar incidencias acústicas geolocalizadas (obras, eventos, ruidos molestos), complementando la red de sensores. Además, se proyecta que puedan validar datos registrados mediante observaciones y comentarios, lo que contribuirá a mejorar la calidad de la información.

Otra funcionalidad clave será la posibilidad de configurar alertas personalizadas, que notifiquen a los usuarios cuando el ruido en su zona supere ciertos umbrales. De este modo, ZonAR se transforma en una herramienta de empoderamiento ciudadano y de prevención en tiempo real.

En términos educativos, el sistema busca sensibilizar a la población mostrando de manera clara y comprensible cómo varían los niveles de ruido a lo largo del día y en distintos sectores de la ciudad. Esta visualización facilita la comprensión del problema y promueve hábitos cotidianos más responsables en relación con el ambiente sonoro [15].

En conjunto, aunque en la actualidad ZonAR se encuentre en fase prototípica, sus proyecciones lo convierten en un ejemplo de tecnología cívica con potencial transformador: un sistema que combina monitoreo ambiental, análisis de datos y participación social para construir ciudades más saludables, sostenibles y habitables.

## 4. Trabajos Relacionados

El monitoreo del ruido urbano ha sido abordado previamente en distintas ciudades

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mediante metodologías como mapas acústicos estáticos y estaciones de medición fijas. Por ejemplo, en Europa, la Directiva 2002/49/CE establece la obligatoriedad de realizar mapas de ruido estratégicos en ciudades con más de 100.000 habitantes [3]. Sin embargo, estos mapas suelen elaborarse cada cinco años y no reflejan la variabilidad temporal del ruido.

En Latinoamérica, existen iniciativas aisladas de monitoreo en tiempo real, aunque en general se basan en redes reducidas de sensores y carecen de integración con plataformas de participación ciudadana [5]. En Buenos Aires, el Informe de Ruido Ambiental 2023 de la Agencia de Protección Ambiental reportó que más del 80% de los puntos medidos superaron los 65 dB en horarios pico [14], aunque el monitoreo aún se limita a campañas esporádicas.

La herramienta fundamental para el diagnóstico en la Ciudad de Buenos Aires es el Mapa de Ruido, elaborado a partir de un modelo de simulación validado con mediciones de largo plazo en 162 puntos geográficos [18]. Este instrumento permite visualizar los niveles sonoros promedio y constituye un insumo relevante para la gestión urbana. No obstante, su naturaleza estática lo convierte en una "fotografía" del problema: una representación periódica y promediada, insuficiente para abordar un fenómeno dinámico que cambia minuto a minuto y calle por calle. En consecuencia, la ausencia de datos en tiempo real limita su utilidad para la gestión preventiva y la toma de decisiones rápidas frente a situaciones críticas.

ZonAR se diferencia de estas propuestas al integrar IoT, visualización geoespacial en tiempo real y participación ciudadana en una misma plataforma. Mientras que los mapas acústicos tradicionales brindan una fotografía del problema, ZonAR construye una película continua del paisaje sonoro urbano, ampliando la capacidad de diagnóstico, anticipación y acción de las políticas públicas.

**5. Conclusiones**

El presente trabajo presentó el diseño y la validación inicial de ZonAR, un sistema de monitoreo y gestión del ruido urbano pensado para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. La propuesta integra tecnologías de bajo costo, procesamiento en la nube y visualización geoespacial, con el objetivo de generar información confiable y accesible sobre un problema ambiental históricamente subestimado: la contaminación acústica. Además, ofrece la capacidad de generar la inteligencia de datos necesaria para proteger la salud de la población, hacer cumplir la normativa vigente y planificar una ciudad donde el desarrollo urbano sea compatible con un ambiente sonoro saludable y sostenible.

En esta primera etapa se desarrolló un prototipo funcional con un único sensor, que permitió comprobar la viabilidad técnica de todo el flujo de trabajo: la captura de los datos de ruido, su transmisión en tiempo real, el almacenamiento en un backend centralizado y la representación visual en una aplicación interactiva. Esta experiencia piloto constituye un paso inicial pero significativo, ya que demostró que es posible contar con información acústica continua y procesable, a diferencia de los enfoques tradicionales basados en mediciones aisladas o mapas acústicos elaborados cada varios años.

Los resultados obtenidos evidencian tanto los beneficios como las limitaciones del sistema en su fase actual. Por un lado, ZonAR demostró capacidad para integrar tecnologías accesibles y generar datos de manera automática, reduciendo los tiempos entre la medición y la disponibilidad de información. Por otro lado, al tratarse de un prototipo, las mediciones aún carecen de la cobertura necesaria para reflejar de manera representativa la compleja realidad acústica

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de la ciudad. Además, la precisión de los sensores de bajo costo, aunque adecuada para un piloto, requiere procesos de calibración y verificación frente a equipos profesionales. Finalmente, la participación ciudadana, uno de los pilares de la propuesta, todavía no ha sido puesta en práctica de manera masiva.

Como futuras líneas de trabajo se plantea expandir la red de sensores hacia diferentes comunas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, priorizando aquellas identificadas en el Informe Anual Ambiental 2020 como las más afectadas por el ruido, en particular las comunas atravesadas por avenidas de intenso tránsito (ej. Av. General Paz, Av. Rivadavia y Av. 9 de Julio), los principales corredores comerciales, así como áreas escolares y hospitalarias [17]. Al mismo tiempo, será necesario mejorar la calidad de los datos mediante técnicas de calibración automática y validación cruzada con estaciones oficiales, garantizando la fiabilidad de las mediciones. Otra línea central consiste en desarrollar algoritmos de predicción basados en inteligencia artificial, capaces de anticipar patrones de ruido en función de variables como el tránsito, la meteorología o la ocurrencia de eventos especiales. Asimismo, resulta estratégico integrar ZonAR con los sistemas de gestión urbana existentes, tales como plataformas de gobierno abierto y mapas de movilidad, de modo que la información acústica pueda incorporarse directamente en la planificación y en el diseño de políticas públicas.
Finalmente, será clave fortalecer la participación ciudadana, no solo como canal de reporte de incidencias acústicas, sino también como mecanismo de validación y retroalimentación activa a través de alertas configurables. A largo plazo, se proyecta la replicabilidad del sistema en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), con el fin de construir un observatorio metropolitano del ruido que sirva como base de políticas coordinadas entre jurisdicciones y permita avanzar hacia un modelo de desarrollo urbano sostenible.

**Agradecimientos**
Los autores agradecen a la Ing. Andrea Alegretti, al Ing. Pablo Federico Abramowicz y a la Mag. Ing. Gabriela Salem por su acompañamiento y orientación en el marco de la Cátedra de Proyecto Final de la UTN FRBA, y al Dr. Oscar Bruno por la revisión crítica de este trabajo.

**Referencias**

[1] World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. WHO Regional Office for Europe, 2018. Disponible en: https://www.who.int/publications/i/item/9789289053563, consultado por última vez: 10/08/2025.

[2] Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. The Lancet, 383(9925), 1325–1332, 2014.

[3] European Environment Agency. Noise in Europe 2020. EEA Report No 22/2019. Disponible en: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe, consultado por última vez: 10/08/2025.

[4] European Environment Agency. Environmental noise in Europe — 2020. EEA Report No 22/2019. Disponible en: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe, consultado por última vez: 23/08/2025.

[5] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Argentina). Contaminación acústica en entornos urbanos. Informe técnico, 2022.

[6] Goines, L., & Hagler, L. Noise pollution: A modern plague. Southern Medical Journal, 100(3), 287–294, 2007.

[7] Kang, J., & Schulte-Fortkamp, B. Soundscape and the Built Environment. CRC Press, 2015.

[8] Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Disponible en: https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32, consultado por última vez: 10/08/2025.

[9] LoRa Alliance. A Technical Overview of LoRa and LoRaWAN. Disponible en: https://lora-alliance.org/resource_hub/what-is-lorawan/, consultado por última vez: 10/08/2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[10] Pivotal Software, Inc. Spring Boot Reference Documentation. Disponible en: https://spring.io/projects/spring-boot, consultado por última vez: 10/08/2025.

[11] Google LLC. Flutter Documentation. Disponible en: https://flutter.dev/docs, consultado por última vez: 10/08/2025.

[12] Aletta, F., & Kang, J. Soundscape approach integrating noise mapping techniques: A case study in Brighton, UK. Noise Mapping, 4(1), 87–99, 2017.

[13] Murphy, E., & King, E. A. Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy. Elsevier, 2014.

[14] Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Informe de ruido ambiental. Agencia de Protección Ambiental, 2023.

[15] United Nations Environment Programme (UNEP). Environmental Education and Awareness for Sustainable Development. Disponible en: https://www.unep.org, consultado por última vez: 10/08/2025.

[16] Fundación Ciudad. Informe sobre percepción del ruido en la Ciudad de Buenos Aires. 2022. Disponible en: https://fundacionciudad.org.ar/pdf/2022-MAY-11_INFORME_RUIDO_FUNDACION_CIUDAD.pdf, consultado por última vez: 23/08/2025.

[17] Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Informe Anual Ambiental 2020. Agencia de Protección Ambiental, 2020. Disponible en: https://buenosaires.gob.ar/sites/default/files/2023-01/INFORME%20ANUAL%20AMBIENTAL%202020.pdf, consultado por última vez: 23/08/2025.

[18] Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Mapa de Ruido de la Ciudad de Buenos Aires. Agencia de Protección Ambiental, 2023. Disponible en: https://epok.buenosaires.gob.ar/pub/mapa/apra/medicion_de_ruido/, consultado por última vez: 23/08/2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Desarrollo de una plataforma para el entrenamiento de habilidades de programación de una forma lúdica

**Fernandez Iriarte, Francisco**
***Universidad Atlántida, Facultad de Ingeniería — Sede Mar del Plata***

**Abstract**

*Se propone el desarrollo de una plataforma orientada al entrenamiento de habilidades de programación mediante una experiencia gamificada y progresiva. Esta propuesta surge de la necesidad de fortalecer competencias clave, a menudo relegadas, que son fundamentales para un desempeño académico y profesional óptimo. El centro del trabajo será: la velocidad de tipeo, depuración de código y la resolución algorítmica de ejercicios, a través de prácticas progresivas adecuadas al usuario y el alcance de logros, desafíos y misiones periódicas. Se busca fomentar la motivación, el compromiso y la constancia en la práctica diaria. Además, la plataforma incluirá un espacio comunitario para promover la interacción entre usuarios generando una red de apoyo, y el acceso a tutores para ofrecer un acompañamiento personalizado. Se busca potenciar el aprendizaje colaborativo y consolidar una comunidad activa orientada a la mejora continua de las habilidades de la programación.*

**Palabras Clave**

- Programación
- Aprendizaje progresivo
- Gamificación
- Comunidad
- Motivación
- Velocidad de tipeo
- Depuración de código
- Resolución algorítmica

## Introducción

En el mundo de la programación, existen habilidades que van más allá del conocimiento teórico de un lenguaje. La capacidad de escribir código con fluidez, depurar código, y encontrar soluciones a problemas, son algunas de ellas. El perfeccionamiento de estas habilidades suele ser un paso fundamental para crecer como programador/a.

La iniciativa surge al observar que, si bien los métodos convencionales de aprendizaje son muy útiles, muchas veces no logran mantener el interés de los usuarios, especialmente en momentos de desmotivación o bloqueo creativo. En esos casos, puede resultar útil contar con una plataforma que permita seguir en contacto con la programación. La ausencia de mecanismos que motiven la práctica diaria y el progreso sostenido, es una barrera común en el aprendizaje autónomo. Por eso, se buscará incentivar la constancia, generando un entorno lúdico que promueva el compromiso y la superación personal.

Este proyecto se centra no sólo en responder a una necesidad técnica, sino también humana: ¿de qué forma lograr que el aprendizaje de habilidades de programación sea constante, placentero y compartido en un mundo donde el tiempo y la motivación son recursos cada vez más escasos? Hay dos teorías que ayudan a apoyar esta idea: la teoría del flujo de Csikszentmihalyi [2] y la teoría de la autodeterminación de Deci y Ryan [9]. La primera explica que las personas alcanzan su máximo nivel de disfrute y concentración cuando se enfrentan a desafíos que están en equilibrio con sus habilidades, generando una experiencia más inmersiva y satisfactoria. La segunda plantea que la motivación intrínseca aumenta cuando se satisfacen tres necesidades psicológicas básicas: autonomía, competencia y relación social, todos elementos que esta plataforma fomenta mediante sesiones de práctica libre, retroalimentación y una comunidad de aprendizaje compartido.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Estudios sobre gamificación muestran que incorporar mecánicas de juego (puntos, niveles, recompensas, logros, etc.) incrementa notablemente la motivación y el compromiso en entornos educativos [5]. Para ello, la plataforma se plantea como una herramienta lúdica e interactiva que ofrece a los programadores sesiones breves y constantes para mejorar habilidades, con retroalimentación.

Se espera que la plataforma permita a los usuarios no solo mejorar habilidades técnicas específicas, sino también adquirir confianza y seguridad en contextos académicos y laborales. Un aspecto clave será la posibilidad de implementar prácticas con diferentes niveles de dificultad, lo que facilitará una progresión sostenida y adaptada al nivel de cada persona. Además, esta propuesta busca convertirse en una herramienta útil para estudiantes que necesitan reforzar sus competencias, para profesionales que deseen mantener la agilidad en sus habilidades, y para aquellas personas que enfrentan entrevistas técnicas o desafíos laborales en el área de programación.

**(Desarrollo)**

**Estructura:**

El desarrollo del proyecto se plantea utilizando HTML, CSS y JavaScript como lenguajes principales, lo que permite diseñar una interfaz moderna, dinámica y adaptable. La incorporación de Bootstrap resulta fundamental para optimizar la experiencia visual, ya que facilita la creación de un diseño intuitivo. De esta manera, se propone generar un entorno atractivo y accesible, y mantener la simplicidad en la navegación.
Para gestionar de manera integral los procesos de autenticación, almacenamiento de datos y despliegue de la aplicación, se decidió utilizar la plataforma Firebase [4].
En primer lugar, se implementará Firebase Authentication, porque permite registrar y autenticar usuarios de manera segura. Este servicio soporta múltiples métodos de acceso como correo electrónico, Google, GitHub, entre otros, los que brindan flexibilidad al usuario y aseguran un registro confiable en la plataforma (Fig. 1).
En segundo lugar, se empleará Cloud Firestore, la base de datos NoSQL en tiempo real de Firebase, que organiza la información en documentos y colecciones. Esta estructura resulta adecuada para el proyecto, ya que facilita el almacenamiento y la gestión de datos relacionados con perfiles de usuarios, resultados obtenidos en las prácticas, estadísticas de progreso, etc. Gracias a la capacidad de sincronización instantánea, los cambios realizados se reflejan en tiempo real, favoreciendo la interacción dinámica y el seguimiento personalizado del aprendizaje.
Finalmente, se utilizará Firebase Hosting para desplegar y alojar la plataforma. Este servicio de Google permite poner en producción la aplicación de manera rápida, segura y escalable, garantizando que los usuarios puedan acceder desde cualquier lugar con tiempos de respuesta reducidos y sin necesidad de servidores locales. Su infraestructura robusta también asegura la estabilidad y confiabilidad del sistema en cada instancia de uso.
Para hacer posible una interacción fluida y en tiempo real entre los usuarios de la plataforma, se integrará Socket.io, una librería que permite gestionar la comunicación en tiempo real dentro de la plataforma. Gracias a esta tecnología, será posible habilitar espacios de interacción donde los participantes podrán intercambiar mensajes de texto, compartir imágenes o enlaces, y mantener conversaciones organizadas según su nivel de experiencia en determinada habilidad de programación o el rol que ocupen. Esta integración garantiza una experiencia colaborativa y dinámica, esencial para fortalecer el sentido de comunidad, favoreciendo tanto el intercambio entre pares como el acompañamiento personalizado de los tutores.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se utilizarán herramientas de uso libre y ampliamente adoptadas en la industria, lo que permite reducir costos y garantizar soporte a largo plazo. Gracias a esta elección, el proyecto no requiere inversión inicial en licencias, ya que tanto el desarrollo como el despliegue se realizan sobre servicios gratuitos provistos por Firebase y tecnologías de código abierto como HTML, CSS, JavaScript y Bootstrap. Esto no solo favorece la accesibilidad durante la etapa de desarrollo, sino que también asegura la posibilidad de escalar la plataforma en un futuro sin que ello implique una carga económica significativa en sus primeras fases. De esta manera, la viabilidad económica queda asegurada al apoyarse en herramientas confiables, documentadas y con comunidades activas que facilitan el mantenimiento y la evolución del sistema.




Figura 1: Registro.

**Usuario:**

El registro de usuarios constituye un componente esencial en el diseño de la plataforma, ya que garantiza una experiencia personalizada y un seguimiento detallado del progreso de cada participante. Toda la información ingresada durante este proceso será almacenada en Firebase, lo que asegura un manejo seguro, confiable y eficiente de los datos.

El objetivo principal es identificar de manera única a cada usuario. Una vez registrado, cada persona contará con un perfil propio que reflejará sus avances dentro de la plataforma, mostrando logros alcanzados, mejores tiempos, desafíos superados, misiones completadas y otra información relevante. Esta información evolucionará en paralelo con la práctica, reforzando la sensación de pertenencia y compromiso con el proceso.

El seguimiento individual busca motivar al usuario a continuar ejercitándose, al ofrecer una representación tangible de los resultados obtenidos. De esta manera, se combate la desmotivación que suele surgir cuando los progresos no son percibidos de forma inmediata, transformando cada pequeña mejora en un logro visible y significativo dentro del sistema.

Las habilidades inicialmente abordadas dentro del proyecto son: velocidad de tipeo, depuración de código y resolución algorítmica. Fueron seleccionadas debido a su relevancia en el proceso de formación de un programador/a. Si bien existen múltiples competencias que pueden trabajarse en este ámbito, se decidió comenzar por estas tres porque representan la base sobre la cual se construye el desempeño cotidiano en la programación: precisión, corrección y lógica. Asimismo, constituyen factores determinantes para diferenciar a un estudiante que se encuentra en etapas iniciales de formación, de aquel que ha

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



consolidado las competencias esenciales necesarias para desenvolverse con fluidez, eficiencia y autonomía en el ámbito de la programación.

**Aprendizaje Activo y Progresivo:**

Establecer una rutina de entrenamiento diario ayuda a crear hábitos de aprendizaje efectivos y sostenibles. La regularidad en la práctica no solo mejora las habilidades técnicas, sino que también fortalece la disciplina. Además, repetir ejercicios de forma constante permite fijar el conocimiento a largo plazo, ya que la práctica deliberada convierte el conocimiento en habilidad y la habilidad en hábito [10]. En el marco de este proyecto, que propone una plataforma de aprendizaje para el desarrollo de habilidades en programación, la práctica constante y el entrenamiento diario se convierten en uno de los ejes centrales. Así como la repetición estructurada refuerza lo aprendido en cualquier ámbito, en este contexto permite a los usuarios incorporar la programación de manera sostenida, construyendo hábitos productivos que potencian su crecimiento técnico.

**Gamificación:**

Es un método que incorpora al ámbito educativo una enseñanza basada en juegos y recompensas, a través de la cual los estudiantes aprenden y mejoran sus habilidades de forma entretenida [12]. Esta estrategia resulta especialmente valiosa para fomentar la mejora de las habilidades de un programador/a, ya que permite sostener el interés del usuario a lo largo del tiempo. Mecánicas motivacionales de gamificación: "En el proceso de aprendizaje, mantener la motivación es una de las partes más difíciles. Hay muchas formas de ayudar a los estudiantes a mantenerse motivados: un profesor excepcional, un examen inminente, la promesa de un ascenso en el trabajo... Y la gamificación es una forma realmente efectiva de hackear la motivación" [3]. La incorporación de estas dinámicas lúdicas permite transformar la práctica del desarrollo de habilidades en programación en un entorno estimulante que combina progreso tangible con disfrute personal.

**Velocidad de tipeo:**

La velocidad de tipeo es una habilidad clave para un desempeño fluido en programación, aunque a menudo se subestima. La falta de entrenamiento en este aspecto suele afectar directamente la productividad y el cumplimiento de plazos en el ámbito laboral. Para abordar este problema, la plataforma propone niveles diseñados con el objetivo de mejorar la rapidez con la que se escribe código (Fig. 2). Estos niveles no estarán compuestos por líneas aleatorias sin sentido, sino por fragmentos de un programa completo, de manera que se aprenda a la vez que se practica la escritura. Un ejemplo concreto es la creación de un minijuego en HTML dividido en niveles, donde cada etapa representa una parte del código que dará forma al producto final. Al finalizar cada nivel, el sistema devolverá estadísticas como palabras por minuto, precisión y tiempo empleado, y con esos resultados los usuarios podrán competir para ingresar en una tabla de los mejores tiempos (Fig. 3). Una vez completados todos los niveles de la actividad, en este caso el minijuego, se desbloqueará el acceso al juego terminado, en el cual también se podrá competir con otros usuarios [Figura 4]. De esta manera, además de mejorar la velocidad de tipeo, se fomenta la sana competencia y se agrega un componente lúdico que incrementa la motivación y la diversión del usuario. Este ejemplo es solo una muestra inicial: la idea es expandir la propuesta hacia actividades que enseñen pequeñas funcionalidades útiles o de interés para los programadores, como bases de datos, ciberseguridad u otras áreas. Además, se implementarán desafíos adicionales que permitirán a los usuarios competir entre sí en base a las palabras por minuto, precisión y tiempo obtenido,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



reforzando el espíritu de superación personal y colectiva dentro de la comunidad (Fig. 4, 5 y 6).

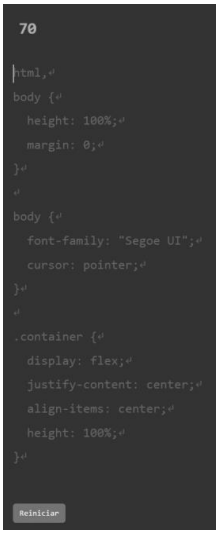



Figura 2: Nivel de tipeo.




Figura 3: Estadísticas de tipeo.




Figura 4: Desafío enviado.

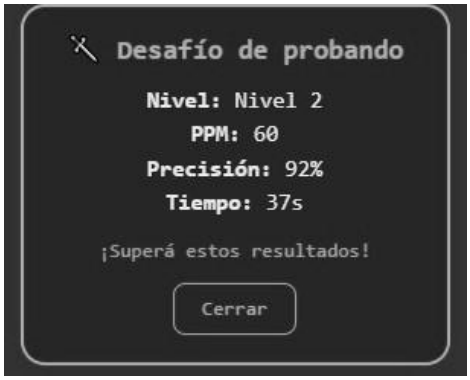



Figura 5: Desafío a superar.




Figura 6: Resultados desafío.

**Depuración de código:**

La depuración es una competencia central en la práctica de la programación: en casi todas sus ramas, resolver errores y encontrar bugs forma parte del trabajo cotidiano. De hecho, estudios señalan que los programadores profesionales dedican entre un 20% y un 40% de su tiempo a depurar código, lo que evidencia la relevancia de entrenar esta habilidad de forma sistemática [7]. Por eso, la plataforma propone convertir esta actividad en un entretenimiento; el objetivo no es solo practicar la depuración, sino hacerlo de manera lúdica para que el hábito se consolide mediante la práctica. La modalidad está orientada a fortalecer la capacidad de los usuarios para localizar y corregir errores, desarrollar una lectura crítica del código y gestionar adecuadamente el estrés al enfrentarse a condicionantes temporales o situaciones de presión. Si bien en este entorno de práctica

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



no existen consecuencias directas, en un contexto real, como una entrevista laboral, disponer de una habilidad consolidada para la detección cuidadosa de errores puede ser un factor clave.

El lenguaje del ejercicio podrá elegirse según la preferencia del usuario, priorizando inicialmente los más utilizados en la industria. A partir de esta base, la propuesta contempla distintas modalidades de juego enfocadas en diversos estilos de aprendizaje. En una de ellas, el sistema presentará fragmentos de código con errores intencionales para que el usuario los identifique y corrija, disponiendo de un tiempo límite en el que deberá encontrar la mayor cantidad de errores posibles. Otra modalidad planteará un número reducido de intentos (por ejemplo, tres errores permitidos) y un tiempo específico para cada fragmento de código. Finalmente, en un modo de "supervivencia", se entregarán fragmentos sucesivos hasta que el participante cometa un fallo, pero sin restricción de tiempo, simulando una situación más cercana al trabajo desde casa, donde no hay un cronómetro corriendo, pero sí la necesidad de encontrar errores de manera rápida y precisa.

El ejercicio ofrecerá retroalimentación inmediata como el tiempo empleado en resolverlo y se propondrán podios con las mejores marcas mayor cantidad de errores encontrados sin fallar. También se registrarán métricas como aciertos, tiempo y nivel alcanzado, lo que permitirá dar seguimiento al progreso de cada usuario y comparar resultados dentro de la plataforma.

**Resolución algorítmica:**

La resolución de problemas algorítmicos constituye una de las competencias más demandadas en el ámbito de la programación, ya que combina la lógica, la capacidad de análisis y la creatividad para encontrar soluciones a diferentes desafíos. Desarrollar esta habilidad mejora la capacidad técnica de los estudiantes y los prepara para instancias de evaluación, como entrevistas técnicas, donde los algoritmos suelen ocupar un rol central en la demostración de competencias.

En la plataforma, la propuesta se organiza de manera progresiva y accesible para todo tipo de usuarios, con el fin de que fortalezcan los aspectos que deseen a través de un recorrido estructurado en bloques temáticos (por ejemplo, Bases de Python, Introducción a la Programación Orientada a Objetos u otros). Cada bloque se representa como una montaña compuesta por distintos niveles de dificultad, que van aumentando a medida que el usuario avanza, simulando el ascenso hasta la cima. De esta manera, se comienza con ejercicios básicos y gradualmente se incorporan problemas de mayor complejidad. Un bloque sobre las bases de Python, por ejemplo, podría estar conformado por diferentes niveles: en los primeros se abordan conceptos fundamentales como variables u operadores, mientras que en niveles más avanzados se introducen el manejo de cadenas, el uso de colecciones de datos como listas y diccionarios, etc.

El sistema no solo busca enseñar la teoría detrás de cada concepto trabajado en el nivel, sino también plantear un ejercicio práctico que el usuario deberá resolver para poder avanzar. La resolución correcta de cada desafío funciona como un paso más en el ascenso, reforzando la idea de que el aprendizaje no es un destino inmediato, sino un camino que se conquista paso a paso.

De este modo, el hecho de ascender una montaña simboliza el proceso de aprendizaje: cada nivel superado es un paso hacia la cima, donde se alcanzan los objetivos planteados y se refuerza la autonomía del estudiante.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Comunidad:**

El rol de la comunidad en el aprendizaje es fundamental. Como menciona Howard Rheinold, una comunidad se forma cuando un número suficiente de personas interactúa de manera continua en un espacio común, creando relaciones personales y tejiendo redes dentro del ciberespacio [8]. Este entorno colaborativo es clave, especialmente en un proyecto donde los programadores pueden intercambiar experiencias, resolver dudas entre ellos y recibir atención personalizada de tutores. Este tipo de interacción no solo fortalece el aprendizaje técnico, sino también las habilidades sociales y de comunicación, que son fundamentales en la profesión.

**Trabajos Relacionados**

En cuanto a la velocidad de tipeo, existe una plataforma llamada Typing.io que se centra en la práctica de escritura de fragmentos de código en diferentes lenguajes. Este enfoque permite mejorar la velocidad de tipeo y visualizar estadísticas básicas del desempeño del usuario [11]. Si bien resulta útil para el entrenamiento individual, su planteo se limita a la práctica mecánica de tipeo. El presente proyecto retoma esta idea, pero introduce un componente innovador al integrar prácticas gamificadas, en las que el aprendizaje no se reduce a la repetición, sino que se acompaña de dinámicas lúdicas que incrementan la motivación y sostienen el compromiso a lo largo del tiempo. El aprendizaje ocupa un lugar secundario; lo esencial es disfrutar de la experiencia y, en el proceso, fortalecer las habilidades como programador.

En cuanto a la depuración de código, la inspiración proviene de propuestas ajenas al ámbito de la programación, como Chess.com (Puzzle Rush). Esta modalidad consiste en resolver problemas de ajedrez en secuencia y bajo presión temporal, estimulando la concentración y la capacidad de reacción [1]. Aunque su objetivo original no está relacionado con el software, la lógica de entrenamiento resulta fácilmente transferible. En este proyecto, dicha dinámica se adapta al terreno de la programación, convirtiendo la depuración de código en una experiencia interactiva y entretenida que permite al usuario fortalecer una de las habilidades más críticas en el ejercicio profesional.

Por último, en lo que respecta a la resolución algorítmica, destacan plataformas ampliamente reconocidas como LeetCode. Esta herramienta ofrece un repositorio extenso de problemas organizados por niveles de dificultad, que sirven como preparación para entrevistas técnicas [6]. Sin embargo, su lógica de práctica se centra en problemas individuales, lo que puede resultar desmotivador para quienes recién comienzan. La propuesta de este proyecto se diferencia al presentar los problemas como niveles progresivos dentro de bloques temáticos, organizados bajo la metáfora de ascender una montaña. Esto no solo introduce un componente narrativo y gamificado, sino que también permite que el aprendizaje se perciba como un proceso estructurado y con sentido de logro, ofreciendo así una alternativa más accesible y motivadora frente a las plataformas tradicionales.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El desarrollo de esta plataforma permitirá diseñar un entorno innovador para el entrenamiento de habilidades clave en programación, tales como la velocidad de tipeo, la depuración de código y la resolución algorítmica de ejercicios. A diferencia de propuestas tradicionales, la integración de gamificación (puntos, logros, niveles, desafíos, etc.), junto con principios de aprendizaje activo y progresivo, práctica distribuida y retroalimentación inmediata, genera un espacio más dinámico, motivador y orientado a la retención del conocimiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Además, la incorporación de foros y comunidades de práctica fortalece la colaboración, el networking entre programadores y el sentido de pertenencia, lo que constituye un diferencial frente a experiencias previas centradas únicamente en el aspecto individual del aprendizaje.

No obstante, se reconocen limitaciones. Entre ellas, la posible pérdida de interés de los usuarios si los desafíos y recompensas no se actualizan con frecuencia; la dependencia de servicios externos como Firebase, que implica riesgos vinculados a cambios en políticas o costos; la necesidad de contar con moderadores que aseguren la calidad de la comunidad y los foros; y el riesgo de baja participación en la comunidad si no se alcanza una masa crítica de usuarios que sostenga la interacción y el intercambio.

En cuanto a los trabajos futuros, se plantea como prioridad superar estas limitaciones. En primer lugar, se proyecta implementar un sistema de actualización periódica de desafíos, acompañado del potencial de expansión hacia plataformas móviles y la incorporación de nuevos lenguajes de programación, de modo de diversificar el alcance. En segundo lugar, se plantea un diseño adaptable a distintos niveles de experiencia, desde principiantes hasta avanzados, con una progresión gradual que garantice una curva de aprendizaje equilibrada y sostenida. Asimismo, será necesario avanzar en moderadores aptos para el puesto para mantener la calidad del entorno comunitario sano. Finalmente, se busca integrar la plataforma como complemento en universidades, cursos de programación y procesos de preparación para entrevistas técnicas, ampliando así su alcance y validando empíricamente su impacto en contextos educativos y profesionales.

De este modo, la propuesta constituye un aporte inicial que combina formación técnica, innovación pedagógica y dimensión comunitaria, sentando bases sólidas para un ecosistema de practica que evolucione con las necesidades de los programadores y con las tendencias del sector tecnológico.

**Referencias**

[1] Chess.com. (s. f.). *Puzzle Rush*. https://www.chess.com/puzzles/rush

[2] Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row. https://www.researchgate.net/publication/224927532_Flow_The_Psychology_of_Optimal_Experience

[3] El País. (2024, septiembre 6). Así es la gamificación: la estrategia que revoluciona el aprendizaje y el desarrollo profesional. *El País*. https://elpais.com/economia/formacion/2024-09-06/asi-es-la-gamificacion-la-estrategia-que-revoluciona-el-aprendizaje-y-el-desarrollo-profesional.html

[4] Firebase. (s. f.). Firebase. Google. https://firebase.google.com/?hl=es-419

[5] Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014, enero). Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3025–3034. https://www.researchgate.net/publication/256743509_Does_Gamification_Work_-_A_Literature_Review_of_Empirical_Studies_on_Gamification

[6] LeetCode. (s. f.). *LeetCode Online Judge*. https://leetcode.com/

[7] Modern Debugging. (s. f.). Communications of the ACM. https://cacm.acm.org/research/modern-debugging/

[8] Platzi. (2024, agosto 20). Los beneficios de aprender en comunidad. https://platzi.com/blog/los-beneficios-de-aprender-en-comunidad/

[9] Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory
and the facilitation of intrinsic motivation, social development,
and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78. https://psycnet.apa.org/doiLanding?doi=10.1037%2F0003-066X.55.1.68

[10] Think Ahead Education. (s. f.). La rutina en el aprendizaje: ¿Cuáles son sus beneficios? *Think*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Ahead Education*. https://thinkaheadeducation.com/educacion-internacional-madrid/psicologia-educativa/la-rutina-en-el-aprendizaje-cuales-son-sus-beneficios/#elementor-toc__heading-anchor-2

[11] Typing.io. (s. f.). *Typing practice for programmers*. https://typing.io/

[12] UNIR. (2020, octubre 13). Gamificación en el aula. https://www.unir.net/revista/educacion/gamificacion-en-el-aula/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# BraiLive: Tecnología asistiva inteligente para la lectura Braille, portable, accesible e integrada con IA

**Coll Lucia, Dell'Arciprete Lucas, Denoya Ailin, Masi Damian**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*La falta de accesibilidad a la información representa todavía una barrera significativa para la plena participación de las personas con discapacidad visual en ámbitos educativos, laborales y sociales. Los dispositivos actuales suelen ser costosos, de difícil acceso y con funcionalidades limitadas, lo que genera una brecha tecnológica y de inclusión.*
*Este trabajo propone un sistema integrado de hardware y software que permite la traducción en tiempo real de texto, voz e imágenes al sistema Braille, incorporando inteligencia artificial generativa para consultas y resúmenes.*
*La metodología incluye el diseño y prototipado de un dispositivo físico portátil con matriz dinámica de pines, el desarrollo de una aplicación móvil junto con la integración de tecnologías de reconocimiento óptico de caracteres (OCR), conversión de voz a texto y modelos de IA conversacional. Se realizaron estudios de factibilidad técnica, legal y de mercado para validar la propuesta.*
*Este proyecto constituye un aporte innovador en el campo de las tecnologías asistivas, al combinar hardware accesible con software inteligente para democratizar el acceso a la lectura en Braille. Su implementación abre nuevas oportunidades de inclusión digital y educativa en América Latina, sentando bases para futuros desarrollos de mayor escala.*

**Palabras Clave** Accesibilidad, Braille, Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Voz e Imágenes, Inclusión Digital, Discapacidad Visual.

## Introducción

En la actualidad, la accesibilidad tecnológica sigue siendo un reto urgente dentro de la ingeniería en sistemas. A pesar de los avances en inteligencia artificial y sistemas embebidos, persisten barreras estructurales que limitan la participación plena de las personas con discapacidad visual.

Para las más de 43 millones de personas en el mundo que sufren de ceguera, y las más de 295 millones que afrontan pérdida moderada a severa de visión [1], el sistema Braille se mantiene como una herramienta fundamental de educación, independencia, desarrollo personal y profesional. El acceso a contenidos en Braille continúa siendo limitado y costoso, y las soluciones existentes no siempre se integran adecuadamente con tecnologías modernas como la inteligencia artificial o el reconocimiento de voz.

La motivación de este trabajo no solo se centra en la innovación tecnológica, sino también en el compromiso ético y social de fomentar la inclusión. El desarrollo del proyecto surge como respuesta a esta problemática social y tecnológica de gran relevancia. Aún considerando los grandes avances en tecnología, la accesibilidad ocupa un lugar secundario en el desarrollo de muchos productos y servicios. BraiLive busca romper con esta tendencia y colocar la inclusión como eje central de su diseño e implementación.

Actualmente, los dispositivos electrónicos Braille disponibles en el mercado son costosos, de difícil acceso en América Latina y limitados en funcionalidades, por ejemplo, un lector de pantalla puede costar cerca de US $900, mientras que un "note-taker" Braille puede alcanzar los US $5.495 [7]. Asimismo, pocas de estas soluciones aprovechan los últimos avances en IA generativa, capaz de resumir, traducir o responder preguntas en lenguaje natural; funcionalidades que resultan especialmente útiles para estudiantes y profesionales con discapacidad visual.

La solución que proponemos consiste en diseñar e implementar un sistema portable,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



económico e inteligente que traduzca en tiempo real textos provenientes de múltiples fuentes (voz, documentos de texto e imágenes) en caracteres del sistema Braille físicos. La utilidad de dicha solución consiste en, por un lado, ofrecer una alternativa local de bajo costo a dispositivos importados, reduciendo barreras económicas; y por otro, incorporar capacidades avanzadas de asistencia que potencien la independencia del usuario más allá de la mera lectura de texto plano.

Las aplicaciones prácticas son diversas y de alto impacto. En el ámbito educativo, BraiLive puede convertirse en una herramienta inclusiva para que estudiantes ciegos accedan a materiales de estudio de manera autónoma. En entornos laborales, facilitará la lectura de documentos digitales, correos electrónicos o reportes, nivelando oportunidades frente a colegas sin discapacidades visuales. En la vida cotidiana, permitirá a los usuarios acceder a noticias, literatura o consultas rápidas a un asistente virtual. En conjunto, este proyecto se plantea como una contribución concreta al campo de la tecnología asistiva, validando en un marco académico la viabilidad de integrar hardware especializado, software multiplataforma e inteligencia artificial con el fin de mejorar la calidad de vida de una población históricamente desatendida.

**Equipo de trabajo y metodología**

El equipo de trabajo de investigación se compone por cuatro integrantes, cada uno de los cuales desempeña dos de los siguientes roles identificados para el desarrollo de la solución.

- Líder del proyecto (LP): Se encarga de la planificación, organización y seguimiento general del proyecto. Asegura que se cumplan los objetivos, los plazos y la coordinación del equipo.
- Diseñador de Hardware (DH): Responsable del diseño físico y funcional de los componentes electrónicos. Define las especificaciones técnicas y se ocupa del prototipado y validación del dispositivo.
- Analista Funcional (AF): Define los requerimientos del sistema desde el punto de vista del usuario. Traduce necesidades en funcionalidades claras para guiar el desarrollo.
- Desarrollador Frontend (DF): Diseña y programa la interfaz de usuario. Se asegura de que la experiencia visual y de uso sea accesible, intuitiva y adaptada al público objetivo.
- Arquitecto de Software (AS): Diseña la estructura técnica general del sistema. Decide cómo interactúan los distintos componentes (hardware, software, datos) para garantizar escalabilidad y rendimiento.
- Administrador de Base De Datos (ABDD): Diseña y gestiona la base de datos del proyecto. Asegura la integridad, seguridad y disponibilidad de la información.
- Líder Técnico (LT): Guía al equipo de desarrollo en decisiones técnicas clave. Garantiza la calidad del código, buenas prácticas y la coherencia de la solución tecnológica.
- Desarrollador Backend (DB): Implementa la lógica del sistema y la conexión entre frontend, hardware y base de datos. Se encarga del procesamiento de datos y servicios internos.

**Factibilidad Legal**

El desarrollo e implementación del sistema BraiLive se encuentra respaldado por el marco legal vigente en la República Argentina, en especial por aquellas leyes que promueven los derechos de las personas con discapacidad y la accesibilidad a la información y la tecnología.

La Ley N.º 26.378, que aprueba la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, obliga al Estado y a la sociedad a promover y asegurar el ejercicio pleno de los derechos y libertades fundamentales de las personas con discapacidad. Entre los compromisos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



asumidos se encuentra el acceso a tecnologías de apoyo, a la información y a la educación en condiciones de igualdad.

El dispositivo BraiLive, al ofrecer traducción de texto e interpretación de voz a Braille en tiempo real, constituye una herramienta de apoyo a la autonomía personal, la comunicación y la integración educativa, laboral y social de personas con discapacidad visual.

La Ley N.º 26.653 de Accesibilidad de la Información en los Sitios Web establece que los sitios web y plataformas digitales de los organismos del Estado deben garantizar el acceso a la información a todas las personas, especialmente aquellas con discapacidad. Si bien esta obligación es directa para el ámbito público, funciona también como un estándar técnico y ético para cualquier solución que busque ser inclusiva.

También, alineado con el contexto internacional, BraiLive sería compatible con los lineamientos de WCAG (Web Content Accessibility Guidelines), garantizando su correcta interacción con lectores de pantalla, comandos por voz y otras herramientas de asistencia tecnológica en el ámbito internacional.

Por lo tanto, consideramos que la solución propuesta por el proyecto BraiLive es jurídicamente factible y se encuentra en plena conformidad con las leyes argentinas orientadas a la inclusión, la accesibilidad tecnológica y la protección de los derechos de las personas con discapacidad

**Relevamiento y requerimientos identificados**

El proceso de relevamiento del proyecto se llevó a cabo mediante el diálogo con usuarios, a través de conversaciones (por correos electrónicos y mensajes de texto) y encuentros virtuales (a través de plataformas de videoconferencias) utilizando el método de la entrevista semiestructurada, la investigación de productos existentes en el mercado y la exploración de sus debilidades.

En el mercado actual, la mayoría de los dispositivos de lectura Braille adoptan un enfoque “All-In-One”, es decir, integran en una única unidad todo el procesamiento, la conversión de texto y la representación en Braille. Este diseño monolítico ofrece al usuario una solución completa, pero incrementa significativamente la complejidad y el costo del hardware, lo que se traduce en precios finales que limitan considerablemente su adopción. Ejemplos de este modelo incluyen dispositivos como el Orbit Reader 40 de Orbit Research [8], o el Braille Me desarrollado en India [9]. Si bien estas soluciones representan avances tecnológicos significativos, sus precios oscilan entre los US $500 y más de US $10.000.

Mediante la investigación se identificaron ventajas en la delegación de ciertas funcionalidades del sistema al teléfono inteligente del usuario (como el procesamiento de la transcripción de caracteres al sistema Braille, o el reconocimiento de texto en imágenes), permitiendo así reducir la necesidad de procesamiento en el dispositivo, simplificando el funcionamiento del mismo.
Los siguientes son los casos de uso que debe atender la solución, según fueron identificados y relevados por el Analista Funcional (AF) junto con el Líder de Proyecto (LP) y el Arquitecto de Software (AS). De esta manera, se definen los requerimientos funcionales:

1. Autenticación: Este módulo permitirá al usuario autenticarse en el sistema, validando las credenciales contra la base de datos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



2. Administración del perfil de usuario: Este módulo permitirá modificar los datos y preferencias del usuario y almacenarlos en su perfil.
3. Listado de textos: Este módulo se encargará de traer y navegar por la lista de textos almacenados en el dispositivo.
4. Transcripción de texto desde imagen o voz: Este módulo permitirá al usuario transcribir texto tanto a partir de imágenes o de voz.
5. Guardado de texto: Este módulo se encargará de almacenar cualquier archivo generado en la aplicación para su posterior lectura.
6. Encendido/apagado del dispositivo Braille: Este módulo se encargará de prender y apagar el dispositivo Braille.
7. Conexión Bluetooth: Este módulo se encargará de emparejarse con un teléfono inteligente (smartphone) mediante conexión Bluetooth.
8. Traducción de texto al sistema Braille: Este módulo permitirá traducir un texto al sistema Braille representado en el dispositivo conectado.
9. Control de navegación de texto en dispositivo móvil: Este módulo permitirá solicitar la siguiente línea o la anterior para que sea representada por el dispositivo.
10. Control de navegación de texto en dispositivo Braille: Este módulo permitirá solicitar la siguiente línea o la anterior para que sea representada por el dispositivo
11. Consultas con IA: Este módulo asistirá al usuario mediante una inteligencia artificial generativa, permitiendo la interacción mediante voz a través del teléfono inteligente.
12. Información del sistema: Este módulo informará la versión de la aplicación móvil y del firmware presente en el dispositivo y si hay actualizaciones disponibles.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



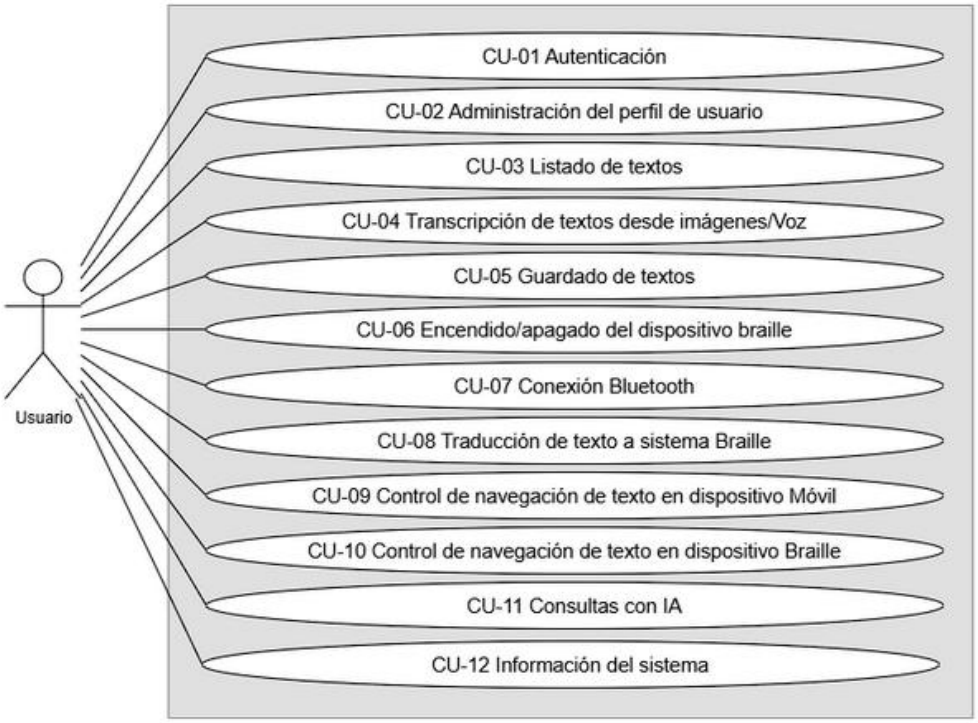



*Figura 1. Casos de uso del sistema*

Los siguientes requerimientos no funcionales de la solución cubren atributos de calidad descritos en la norma ISO/IEC 25010:

1. Velocidad de respuesta del dispositivo: El dispositivo representará una nueva línea de caracteres del sistema Braille con una velocidad inferior a los dos segundos para que se genere la misma, una vez que el sistema lo requiera.
2. Durabilidad del dispositivo: El dispositivo se construirá con materiales resistentes dado que el mismo se utilizará diariamente bajo las costumbres de un buen uso.
3. Precisión mecánica: Los pines del dispositivo se activarán con precisión (según los estándares del sistema Braille) y deberán mantenerse estables al tacto.
4. Autonomía del dispositivo: El dispositivo tendrá una autonomía de batería para su uso continuo de -al menos- 4 horas, o la transcripción de -al menos- 16.000 caracteres; lo que suceda primero.
5. Accesibilidad para las personas con discapacidad visual: La aplicación móvil y el dispositivo deberán ser fáciles de usar para una persona con discapacidad visual, siguiendo las buenas prácticas de accesibilidad.
6. Reglamentación argentina y normas internacionales: El sistema incorporará toda reglamentación argentina sobre el tratado de información personal o privada, y seguirá los estándares internacionales.
7. Mantenibilidad del firmware: El dispositivo permitirá realizar actualizaciones de firmware a través de su conexión inalámbrica con el dispositivo móvil (proceso OTA, o "Over-The-Air").
8. Portabilidad del dispositivo: El dispositivo deberá ser portable, no pesando más de 3 kilogramos y su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



volumen no sobrepasará los 18000 centímetros cúbicos (18 litros).

**Arquitectura de la solución**

A alto nivel, el sistema BraiLive sigue un modelo de cuatro capas, que separa responsabilidades y facilita la evolución independiente de cada parte.

- Capa I: Cliente –
  En esta capa reside la aplicación React Native y el dispositivo Braille físico. El teléfono inteligente cumple un rol central, ya que proporciona la interfaz accesible para el usuario, gestiona la interacción por voz y comandos táctiles, y mantiene la comunicación con el dispositivo a través de Bluetooth Low Energy (BLE). Además, la arquitectura de la aplicación móvil se basa en componentes reutilizables y en un flujo unidireccional de datos, lo que permite modificar la lógica de presentación (idioma, estilos de interfaz) sin afectar las reglas de negocio.
  Tiene las siguientes funciones clave:
  - Renderizar la UI.
  - Validar la entrada del usuario (títulos, descripciones, comandos de voz).
  - Mostrar el estado de lectura y reproducir el texto por voz.
  - Supervisar la conexión BLE y el nivel de batería.
- Capa II: Aplicación –
  El núcleo de negocio, sus módulos procesan documentos, autentican usuarios y orquestan la IA. Cada servicio persiste datos y emite eventos que la aplicación consume en tiempo real.
  La lógica se encuentra distribuida, lo que permite que un fallo en uno de los microservicios, como el de IA, no afecte otros, como el de autenticación.
  Sus funciones clave son:
  - Validar permisos y roles de cada acción.
  - Ejecutar reglas de negocio.
  - Gestionar tokens de sesión.
  - Emitir eventos y notificaciones.
- Capa III: Integración –
  La capa de integración funciona como intermediaria entre la aplicación, el firmware y los servicios externos. Al mantener la aplicación y el firmware desacoplados de proveedores externos, cualquier cambio —como una futura migración del motor de IA— puede resolverse exclusivamente en esta capa, sin afectar al resto del sistema.
  Tiene las funciones clave de:
  - Exponer un único endpoint seguro con autenticación OAuth.
  - Adaptar formatos y comprimir mensajes entre protocolos.
  - Aplicar políticas de seguridad y límites de uso.
  - Publicar eventos asincrónicos para tareas de procesamiento offline.
- Capa IV: Datos –
  Esta capa se encarga de resguardar la información. A través de backups diarios, el entorno puede reconstruirse ante un imprevisto.
  Incluye las funciones clave:
  - Almacenar documentos PDF y metadatos de forma segura y versionada.
  - Ofrecer restauración en cualquier punto de los últimos 30 días.
  - Mantener integridad referencial para reportes futuros.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



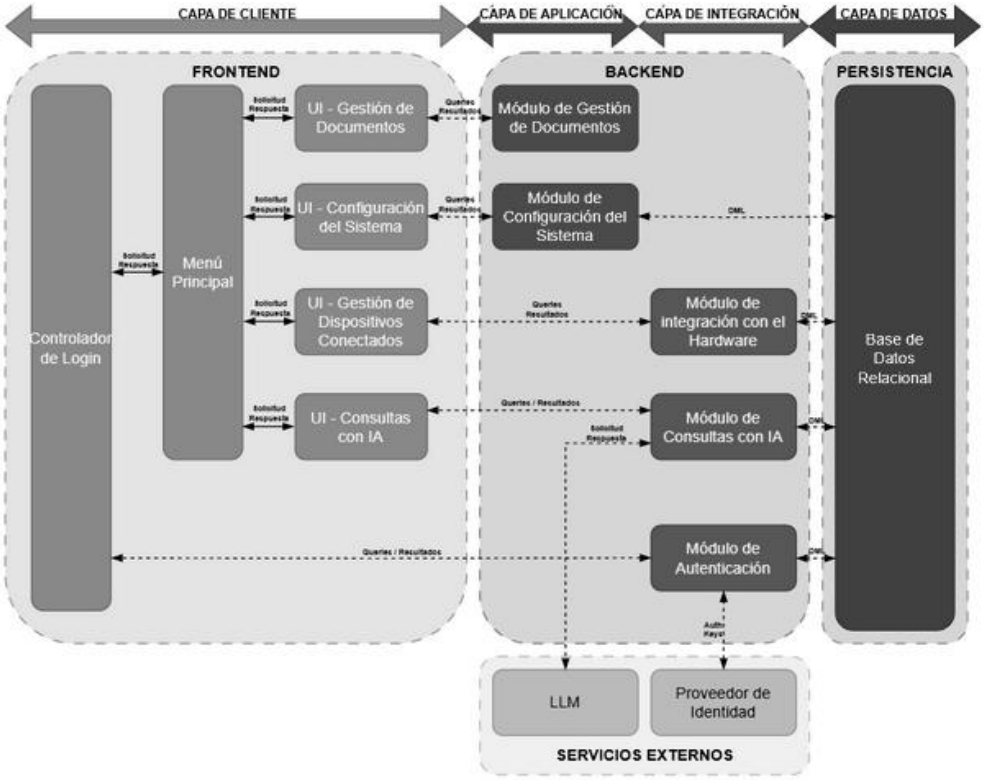



*Figura 2. Arquitectura del sistema.*

**Patrones de diseño**

Los siguientes patrones de diseño fueron empleados en la construcción de la solución:

- MVVM (Model–View–ViewModel) en la aplicación móvil para separar presentación, estado y datos con flujo unidireccional y alta testabilidad.
  - View: renderiza y despacha eventos sin lógica de negocios.
  - ViewModel: concentra el caso de uso, las acciones y estados.
- Modelo: Funciones puras/APIs que hablan con backend/BLE/almacenamiento local/IA.
- Microservicios & API Gateway en el backend: Cada responsabilidad (autenticación, gestión de documentos, orquestación de IA) vive en su propio contenedor. El API Gateway ofrece un punto de entrada único, aplica políticas de seguridad y enruta las peticiones. Así, si se decide añadir un servicio de "lectura colaborativa" mañana, basta con registrar su ruta; el resto permanece estable.
- Singleton para el módulo de Autenticación: El moduloAuth mantiene un único objeto TokenManager (implementado como Singleton) que gestiona la clave simétrica para firmar JWTs y la caché de sesiones. Tener una sola instancia evita desincronizaciones de clave entre hilos y reduce la sobrecarga de I/O: todos los threads comparten la misma referencia en memoria, garantizando consistencia y rapidez.
- Repository + Unit of Work para acceso a datos: El código de negocio nunca ve SQL puro: delega en repositorios tipados (DocumentRepository, UserRepository). Unit of Work coordina las transacciones;

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



si al grabar un documento su bitácora falla, todo se revierte de forma atómica.
- Observer para notificaciones de progreso: Cuando el firmware termina de levantar cada línea, emite un evento LineRendered; la app y el backend se suscriben y actualizan su UI/registro sin acoplarse a la lógica interna del dispositivo.
- Factory Method para servicios de notificación: Un NotificationFactory decide en tiempo de ejecución si instanciar PushNotificationService, VoiceOverAnnouncementService o ambos, según las preferencias del usuario. Esto facilita agregar un futuro canal (por ejemplo, vibración háptica en smartwatch) sin alterar el código cliente.

**Trabajos relacionados**

El trece de febrero de 2016, cinco estudiantes universitarias del MIT, de diversas disciplinas, se reunieron para participar en el MakeMIT Hackathon, bajo el nombre de "Team 100% Enthusiasm" (Equipo de 100% entusiasmo).

Minutos antes de que el tiempo límite del evento concluyera, presentaron un prototipo prueba de concepto que tenía la capacidad de leer y representar la letra L en una celda Braille dinámica, con el cuál ganaron el patrocinio de Microsoft. [5]

Luego de meses de esfuerzo, evolucionaron su prototipo a una versión más robusta y ampliaron su equipo. Su fin era ahora crear un dispositivo económicamente accesible, que pudiera leer texto y reproducirlo en el sistema Braille. [6]

La propuesta del ahora llamado Team Tactile comparte con la nuestra el foco en la inclusión social y la aspiración de facilitar el acceso al sistema Braille para la vida cotidiana de las personas con discapacidad visual. El dispositivo de Team Tactile, se diferencia de BraiLive en que su buscado producto final incluye más componentes y requerimientos de hardware que el nuestro (como la inclusión de una cámara en su base y la capacidad de procesar la imágen que la misma obtiene), y, sin embargo, ofrece menos funcionalidades que nuestra propuesta.

Esto es porque nuestra propuesta busca la reutilización de recursos disponibles, como el teléfono inteligente del usuario, para reducir costos y ampliar las posibles funcionalidades.

Si bien reconocemos las diferencias entre los productos finales que las distintas propuestas buscan alcanzar, y compartimos el foco de la problemática siendo abordada, consideramos que ambos productos tendrán su lugar en el mercado.

**Estado actual y discusión**

En el momento en que este documento se confecciona, el software se encuentra en una etapa inicial del desarrollo, y el prototipo del dispositivo se está diseñando.

Una de las mayores decisiones que están siendo abordadas es si emplear celdas Braille dinámicas comercializadas en el mercado, o desarrollar propias. La primera opción permitiría un diseño más ágil y menor riesgo de demoras relacionadas al correcto funcionamiento del hardware, pero sujetaría al proyecto a un presupuesto potencialmente mayor y posibles demoras de los proveedores en el envío de los componentes adquiridos a las manos del equipo. La segunda opción, en cambio, conlleva la necesidad de mayor inversión de tiempo en el desarrollo de una solución propia para el funcionamiento de los pines en las celdas Braille dinámicas del dispositivo.

Esta diferenciación respecto a soluciones "all-in-one" del mercado aporta un enfoque innovador que puede posicionar a BraiLive

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



como una alternativa más accesible en América Latina.

En el plano académico, el proyecto representa un caso valioso de aplicación de metodologías de ingeniería de sistemas, ingeniería electrónica e ingeniería mecánica en el campo de la tecnología asistiva, lo que le otorga al trabajo relevancia interdisciplinaria. Asimismo, la integración con inteligencia artificial generativa abre un debate sobre el rol de estas tecnologías emergentes en la educación inclusiva, ampliando el alcance más allá de la transcripción Braille básica hacia escenarios de interacción más ricos.

**Conclusión**

El proyecto BraiLive aborda un problema concreto y de gran impacto social: la falta de dispositivos Braille accesibles, económicos y con funcionalidades modernas que favorezcan la inclusión digital de personas con discapacidad visual.

La propuesta se distingue de trabajos previos al aprovechar el potencial de los teléfonos inteligentes y delegar en ellos tareas de procesamiento intensivo (reconocimiento óptico de caracteres, voz a texto, interacción con IA), lo que permite simplificar el hardware, reducir costos y ampliar funcionalidades. Este enfoque híbrido entre hardware especializado y software móvil marca un aporte innovador en la línea de soluciones tecnológicas inclusivas.

Entre las limitaciones actuales se encuentra la falta de un prototipo físico validado en condiciones reales de uso, así como la potencial dependencia inicial de componentes externos que podrían afectar plazos y costos. Además, la integración con modelos de IA plantea una discusión respecto a su uso y utilidad en el ambiente de accesibilidad.

De cara al futuro, los próximos pasos incluyen:

- Completar el diseño y construcción del prototipo físico, priorizando pruebas de ergonomía y resistencia.
- Continuar el desarrollo de la aplicación móvil con controles de accesibilidad auditiva.
- Realizar pruebas piloto con usuarios finales para validar la experiencia de lectura y navegación.
- Explorar alternativas de fabricación local para reducir costos de producción y dependencia de importaciones.

En conclusión, BraiLive constituye un aporte académico y tecnológico con proyección práctica. Si logra superar los retos de prototipado y escalabilidad, puede convertirse en una herramienta clave para democratizar el acceso a la información, generando un impacto real en la inclusión social y educativa de las personas con discapacidad visual.

**Agradecimientos**

Deseamos agradecer a la Cátedra de Proyecto Final de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional por su acompañamiento y asistencia durante el desarrollo de este proyecto. También a la organización Tiflonexos y sus colaboradores, por aportarnos su invaluable perspectiva en el área de discapacidad visual y asistencia tecnológica, la cual resultó un gran factor motivacional para nosotros.

**Datos de Contacto**

*Coll, Lucía. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*lcoll@frba.utn.edu.ar*
*Dell'Arciprete, Lucas. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*ldellarcipreteblanque@frba.utn.edu.ar*
*Denoya, Ailín. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires*
*adenoya@frba.utn.edu.ar*
*Masi, Damián. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*damimasi@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias**

1. https://www.orbis.org/en/news/2021/new-global-blindness-data
2. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment
3. https://www.theguardian.com/global-development/2019/oct/08/simple-eye-care-could-have-saved-sight-of-1-billion-people-report-who
4. https://medium.com/who/over-2-2-billion-people-are-blind-or-visually-impaired-and-the-numbers-are-rising-heres-why-f0da6df0a191
5. https://innovation.mit.edu/pathway-post/tactile/
6. https://www.technologyreview.com/2017/04/25/152177/mit-students-invent-simple-device-that-makes-printed-text-accessible-to-the-blind/
7. https://nfb.org/images/nfb/publications/bm/bm17/bm1703/bm170305.htm
8. https://www.orbitresearch.com/product/orbit-reader-40/
9. https://www.nbp.org/ic/nbp/technology/brailleme.html?from_search=1#:~:text=Ir%20a%20Recursos%20y%20otra,de%20audio%20y%20braille%20perfecta.&text=Se%20puede%20conectar%20mediante%20USB,y%205%20idiomas%20por%20dispositivo.&text=La%20bater%C3%ADa%20se%20carga%20en,puede%20durar%20hasta%2012%20horas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Carbon Trace: Medición y gestión automatizada de la huella de carbono

**Del Greco, Juan Pablo**
**Fierro, Federico**
**Vázquez, Mario Waldo**
**Sierra, Nicolás Federico**
**Mateo, Federico**

***UNLaM, Departamento de ingeniería e investigaciones tecnológicas***

**Abstract**
*En el presente documento se describen las características y funcionalidades de Carbon Trace, una plataforma diseñada para empresas de los sectores industriales, logísticos y manufactureros, cuyo propósito es recopilar, analizar y calcular las emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de reducir la huella de carbono generada por sus operaciones.*
*La solución permite el monitoreo en tiempo real del consumo eléctrico, los kilómetros recorridos por la flota vehicular y la cantidad de residuos generados, integrando estos datos de forma automática a través de sensores eléctricos, balanzas y dispositivos GPS conectados por Ethernet. Toda la información se centraliza en una plataforma web que ofrece visualización de datos, alertas, simulaciones y reportes detallados.*
*A diferencia de los métodos tradicionales, en los que el cálculo de la huella de carbono se realiza de forma anual y mediante un proceso manual utilizando información provista por la organización y utilizando hojas de cálculo. Carbon Trace lleva a que las empresas puedan automatizar todo el proceso, desde la recolección de datos hasta su cálculo, proporcionando información diaria y precisa que permite a las empresas tomar decisiones rápidas y efectivas para implementar prácticas sostenibles respaldadas por tecnología accesible y eficiente.*

**Palabras Clave**
Huella de carbono, $CO_2$, automatización, GPS, sostenibilidad, sensores, IA.

## Introducción

En los últimos años, la medición de la huella de carbono se ha consolidado como una herramienta esencial para evaluar el impacto ambiental de organizaciones, productos y servicios. Informes internacionales, como los del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021) [1] y el World Resources Institute (2020) [2], destacan que la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero constituye uno de los principales desafíos globales de este siglo. En paralelo, el Carbon Disclosure Project (CDP, 2022) [3] reporta que más de 18.000 empresas en todo el mundo ya cuantifican publican su huella de carbono, con el objetivo de mejorar su transparencia ambiental y responder a regulaciones cada vez más estrictas. A nivel local, organismos como el Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires [4] han publicado guías para el cálculo de emisiones, y universidades como la UNLP [5] han avanzado en la cuantificación de sus emisiones institucionales, lo que refleja la creciente incorporación de esta práctica en Argentina.

El interés de la población por la sostenibilidad no es casual. Los efectos visibles del cambio climático —como olas de calor, sequías e inundaciones— han incrementado la preocupación ciudadana y, en consecuencia, la presión hacia las empresas para que adopten prácticas más responsables. Un informe de Deloitte (2022) [6] indica que más del 60 % de los consumidores consideran la sostenibilidad al momento de elegir productos, mientras que un estudio de Boston Consulting Group (2023) [7] revela que una proporción significativa de los compradores está dispuesta a pagar hasta un 5 % adicional por alternativas sostenibles. Además, regulaciones internacionales como el Carbon Border Adjustment Mechanism de la Unión Europea comienzan a exigir reportes de emisiones a empresas exportadoras, lo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que transforma la huella de carbono en un factor económico estratégico y no solo reputacional.

Actualmente, el proceso de cálculo en Argentina presenta serias limitaciones. La opción más costosa es contratar consultoras especializadas, cuyos servicios son manuales, de alto valor económico y poco accesibles para pequeñas y medianas empresas. En el otro extremo, se recurre a soluciones más básicas como planillas de Excel, donde los clientes deben ingresar manualmente datos dispersos, tales como consumo eléctrico en kilovatios, litros de combustible utilizados por cada vehículo y materiales empleados en la producción. Este enfoque, aunque más económico, resulta propenso a errores, depende de la conservación de tickets o comprobantes, y se vuelve ineficiente para organizaciones con múltiples fuentes de emisión.

Frente a estas limitaciones, surge Carbon Trace, una plataforma tecnológica que moderniza el proceso de medición de la huella de carbono al incorporar automatización, precisión y simplicidad de uso. A diferencia de los métodos tradicionales, Carbon Trace adquiere los datos de manera automática, evita la pérdida de registros y centraliza la información en un solo entorno digital. Su interfaz intuitiva mejora la experiencia de usuario (UX), reduciendo la curva de aprendizaje respecto a herramientas manuales, y su implementación en la nube elimina la necesidad de instalaciones complejas. Además, genera reportes en tiempo real con recomendaciones estratégicas para la reducción de emisiones, lo que no solo optimiza la gestión ambiental, sino que también fortalece la competitividad de las empresas en mercados cada vez más regulados y exigentes.

El sistema desarrollado tiene como objetivo registrar y calcular de manera precisa las emisiones de $CO_2$ generadas por una empresa, a partir de tres fuentes principales: consumo de combustibles en vehículos, uso de energía eléctrica y cantidad de materiales utilizados en procesos productivos.
Cada componente de hardware está diseñado para adquirir datos en tiempo real y transmitirlos mediante conexión de red hacia un backend centralizado. A continuación, se describen los componentes que integran la plataforma:

**Componentes del Hardware**

- **Rastreo GPS**

Para calcular de manera precisa las emisiones asociadas al transporte, se implementa en cada vehículo un dispositivo GPS [8]. Este equipo transmite en tiempo real la posición y el recorrido mediante redes móviles. Estas posiciones registradas, nos permiten calcular los kilómetros recorridos por los vehículos, para luego a partir de un cálculo realizado con un factor de emisión (que depende del vehículo y tipo de combustible utilizado), podemos obtener todas las emisiones de $CO_2$ generadas por la operación de una flota.




**Figura 1. Tracker Teltonika FMB920**

- **Monitoreo de Consumo Eléctrico**

El consumo energético de la empresa se mide a través de un dispositivo basado en Arduino Uno con un Ethernet Shield W5100 [9].



**Figura 2. ETHERNET-W5100-SHIELD**

A este se conecta un sensor de corriente SCT-013 [10], encargado de capturar los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



datos de consumo eléctrico. Los registros se transmiten automáticamente mediante conexión Ethernet, garantizando un flujo constante de información. Este consumo es medido en kWh y luego a partir del factor de emisión correspondiente al tipo de energía, podemos obtener las emisiones de $CO_2$ generadas.



**Figura 3. SCT-013**

- **Medición de materiales (Balanza inteligente)**

Con el fin de registrar los materiales empleados en los procesos productivos, se construyó una balanza digital capaz de enviar el peso y el tipo de material a la plataforma mediante conexión Ethernet. El sistema se compone de un Arduino Mega como placa principal, un módulo ENC28J60 [11] para la comunicación de red, un sensor HX711 [12] conectado a la celda de carga.

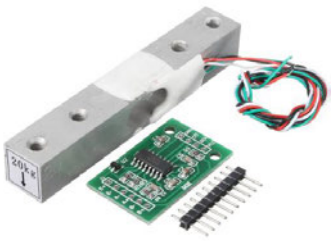


**Figura 4. HX711**

y una pantalla LCD 20x4 HD44780 [13].




**Figura 5. HD44780**

Además, se incluyen cuatro botones (Enviar, Tara, Arriba y Abajo) que permiten navegar por la lista de materiales, seleccionar la opción correspondiente y registrar el dato en la API al presionar "Enviar".



**Figura 6. ENC28J60**

obtener las emisiones de $CO_2$ generadas.

**Plataforma**

Se desarrolla una aplicación web que permite visualizar los datos recopilados, los cálculos de emisiones y sugerencias para la reducción del impacto ambiental. La interfaz está implementada en Angular, utilizando TypeScript como lenguaje principal, y está organizada en distintas pantallas para presentar indicadores de consumo de combustibles por vehículo, gasto energético y materiales registrados.




**Figura 7. Medición Eléctrica**

**Backend y APIs**

La comunicación entre dispositivos y la plataforma se gestiona mediante un conjunto de APIs desarrolladas en NodeJS, utilizando TypeScript y el framework NestJS. Estas APIs reciben la información de los sensores, la procesan y la almacenan en la base de datos, garantizando escalabilidad y seguridad en la transmisión de datos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



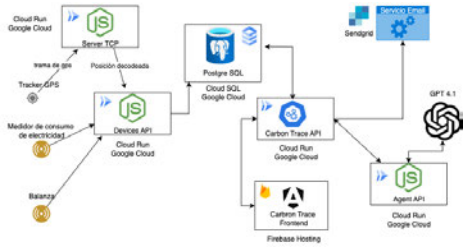



**Figura 8. Diagrama de arquitectura**

## Base de datos

La información recolectada se almacena en una base de datos construida en PostgreSQL con extensión PostGIS, lo que permite manejar datos espaciales provenientes del GPS. Se implementan triggers y jobs automáticos para asegurar la correcta gestión, limpieza y organización de la información, facilitando el análisis posterior por parte de la plataforma.



**Figura 9. DER**

## Trabajos Relacionados

La empresa Krbon.me se especializa en el cálculo preciso de la huella de carbono para empresas, mediante un enfoque manual y personalizado, realizado por especialistas según las necesidades específicas del cliente. Su análisis abarca principalmente emisiones directa e indirectas

Por su parte, la empresa MiHuellaCarbono ofrece una solución autogestiva y automatizada, en la que el usuario ingresa manualmente los datos en una plataforma online para obtener una estimación cercana de sus emisiones de directa e indirectas.

## Proceso de integración de las empresas con la plataforma

Para poder integrar a las empresas en la plataforma y así poder calcular su huella se deben cumplir dos pasos, incorporar los sensores necesarios para obtener los datos para el cálculo de las emisiones (trackers en los vehículos, sensores de electricidad, balanzas) que va a depender del tipo de empresa que sea. Luego de esto, se le crea y configura un usuario en la aplicación, con sus sensores y sus respectivos factores de emisión. Ya teniendo esto, la información de los sensores va a llegar a la plataforma a través de internet y los usuarios van a poder ver los registros proporcionados por los sensores y la huella asociada a estos.

## Conclusión

Se diseñó una plataforma automatizada para la medición y gestión de la huella de carbono, capaz de integrar distintos dispositivos de monitoreo con un sistema centralizado en la nube.
La implementación de sensores de consumo eléctrico, balanzas industriales y dispositivos GPS, junto con una aplicación web, permitió lograr la automatización de la captura y análisis de datos vinculados a emisiones de $CO_2$, reduciendo la necesidad de intervención manual y facilitando un seguimiento en tiempo real.

En comparación con los métodos actualmente disponibles en Argentina -consultorías de alto costo o registros manuales en hojas de cálculo-, la solución presentada aporta mayor precisión, reducción de errores humanos y disponibilidad permanente de la información, lo que representa un cambio sustancial frente a la generación de reportes mensuales o esporádicos.

Actualmente, la plataforma se encuentra en estado de mínimo producto viable (MVP), validado en el contexto de una industria piloto, lo que permite proyectar mejoras

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



futuras sin dejar de destacar el valor demostrado en condiciones reales de uso.

Entre las líneas de trabajo a futuro se considera la ampliación de pruebas con múltiples empresas, la incorporación de técnicas de inteligencia artificial para optimizar la predicción de emisiones, y la escalabilidad de la infraestructura para soportar un mayor volumen de datos y usuarios.

Si bien el desarrollo se encuentra inicialmente orientado al contexto argentino, la arquitectura fue diseñada con un enfoque escalable y adaptable a otros mercados, lo que abre la posibilidad de expansión regional e internacional.

Se espera que este desarrollo contribuya al avance de soluciones tecnológicas accesibles para la sostenibilidad industrial, promoviendo decisiones informadas y prácticas responsables..

**Referencias**

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

[2] World Resources Institute (WRI). Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.
https://ghgprotocol.org/

[3] Carbon Disclosure Project (CDP). Global Environmental Disclosure Report 2022.
https://www.cdp.net/en/reports

[4] Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires. Guía para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero. Buenos Aires, 2019
https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_aplicacion_Huella_de_Carbono.pdf?utm_source=chatgpt.com

[5] Universidad Nacional de La Plata (UNLP). La huella institucional de carbono de la UNLP 2019.
http://sedici.unlp.edu.ar

[6] Deloitte. Sustainable Consumer 2022.
https://www2.deloitte.com/insights/us/en/topics/strategy/sustainable-consumer.html

[7] Boston Consulting Group (BCG). Consumers Value Sustainability – And Back It Up With Their Wallets. 2023.
https://www.bcg.com/publications/2023/consumers-value-sustainability

[8]Tracker teltonika fmb920
https://wiki.teltonika-gps.com/images/f/fd/Datasheet-FMB.920.pdf

[9]ETHERNET-W5100-SHIELD Data Sheet
https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2049280/AGELECTRONICA/ETHERNET-W5100-SHIELD.html

[10]SCT-013 Data Sheet
https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1155087/YHDC/SCT-013.html

[11]ENC28J60 Data Sheet
https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/515823/MICROCHIP/ENC28J60.html

[12]HX711 Data Sheet
https://www.scribd.com/document/570438844/HX711-Data-Sheet#

[13]HD44780 Data Sheet
https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/63673/HITACHI/HD44780.html

**Datos de Contacto:**
*Juan Pablo Del Greco. UNLaM. 1754.*
*jdelgreco@alumno.unlam.edu.ar*
*Federico Fierro. UNLaM. 1754.*
*ffierro@alumno.unlam.edu.ar*
*Nicolas Federico Sierra. UNLaM. 1754.*
*nsierra@alumno.unlam.edu.ar*
*Mario Waldo Vazquez. UNLaM. 1754.*
*marvazquez@alumno.unlam.edu.ar*
*Federico Mateo. UNLaM. 1754.*
*fmateo@alumno.unlam.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# OVO
# SISTEMA DE ORIENTACIÓN VOCACIONAL ONLINE

KARAKE, FACUNDO - CACERES, NATALIA - NOSEDA, SANTIAGO - BUFARINI, IGNACIO - CALCAGNO ,MATIAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL MENDOZA

**Resumen**

El presente trabajo describe el proyecto desarrollado como trabajo final de la Carrera Ingeniería en Sistemas de Información, el Sistema OVO, una plataforma web que tiene por objetivo brindar orientación vocacional efectiva a estudiantes mediante el uso de tecnologías innovadoras. Este proyecto surge de la necesidad de reducir la incertidumbre en la elección de carreras universitarias, abordando el problema desde una perspectiva integral y tecnológica. El desarrollo del sistema se llevó a cabo bajo una metodología ágil Kanban, garantizando flexibilidad y control en la gestión del ciclo de vida del proyecto. Para la gestión y documentación, se emplearon herramientas como Google Drive, ProjectLibre, Jira y Confluence. En la etapa de diseño del sistema, se utilizaron Enterprise Architect, Diagrams y Figma para la modelización de procesos, diagramas UML y prototipado de interfaces.

Desde el punto de vista tecnológico, OVO se implementa como una aplicación web desarrollada en Typescript y React para el frontend, junto con Python para servicios específicos, y una base de datos relacional MariaDB desplegada en la nube. La infraestructura está soportada en AWS, utilizando Lambda, S3 y Bedrock para garantizar escalabilidad y robustez. Asimismo, se integraron herramientas de control de versiones con Git y flujos de despliegue continuo.

Se espera que OVO optimice el proceso de toma de decisiones vocacionales, facilitando un análisis preciso y personalizado para cada usuario mediante un sistema accesible, escalable y moderno.

A lo largo del ciclo de vida del proyecto, se utilizaron las siguientes herramientas y tecnologías:

- *Gestión* y documentación: Google Drive, ProjectLibre, Jira y Confluence.
-
- *Diseño* del sistema: Enterprise Architect, Diagrams y Figma.
- *Desarrollo* del software y la infraestructura: Typescript, React, Python, mariaDB, Git, AWS Lambda, Amazon S .

**Abstract**

*This paper describes the project developed as the final thesis of the Information Systems Engineering degree: the OVO System, a web-based platform designed to provide effective vocational guidance to students through innovative technologies. The project emerges from the need to reduce uncertainty in choosing university careers, addressing the problem from a comprehensive and technological perspective. The development followed an agile Kanban methodology, ensuring flexibility and control over the project life cycle. For management and documentation, tools such as Google Drive, ProjectLibre, Jira, and Confluence were used. The system design was supported by Enterprise Architect, Diagrams, and Figma for process modeling, UML diagrams, and interface prototyping.*

*From a technological perspective, OVO was implemented as a web application, using Typescript and React for the frontend, Python for specific services, and a MariaDB relational database hosted in the cloud. The infrastructure relies on AWS services, including Lambda, S3, and Bedrock, to ensure scalability and robustness. In addition, Git was used for version control and continuous deployment pipelines.*

*OVO is expected to optimize the vocational decision-making process, providing accurate and personalized analysis for each user through an accessible, scalable, and modern platform.*
*Management and documentation: Google Drive, ProjectLibre, Jira and Confluence.*

- *System design: Enterprise Architect, Diagrams and Figma.*
- *Software and infrastructure development: Typescript, React, Python, mariaDB, Git, AWS Lambda, Amazon S3.*

**Palabras Clave**

Orientación vocacional digital, Plataformas educativas web, Metodologías ágiles en desarrollo de software, Computación en la nube AWS, Tecnologías de inteligencia artificial aplicada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Introducción**

Según datos del Ministerio de Educación de la Nación [1], aproximadamente el 38,1 % de los ingresantes a carreras universitarias en Argentina (cohorte 2019) se desvinculan del sistema al año siguiente, es decir, durante el primer año de cursada. Además, se estima que alrededor del 22,7 % de los estudiantes cambia de carrera en el segundo año, de los cuales cerca del 9,9 % lo hace hacia ramas diferentes a las originalmente elegidas. Como podemos Observar en la Figura 1: Indicadores de permanencias.

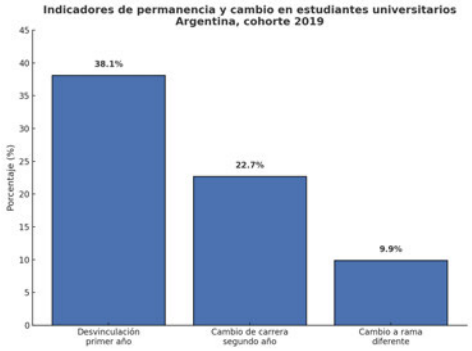



*Figura 1: Indicadores de permanencias*

Estas cifras reflejan una realidad preocupante: una elevada tasa de deserción y cambio de carrera durante los primeros años universitarios.

Aunque existen diversas herramientas de orientación vocacional, muchas de ellas no están diseñadas para ofrecer un análisis personalizado basado en sus aptitudes, lo cual dificulta la toma de decisiones adecuadas por parte de los estudiantes.

El principal problema que aborda OVO es precisamente esta falta de una plataforma integrada y digitalizada que permita:

- Realizar un análisis personalizado y dinámico del perfil vocacional del estudiante.
- Proporcionar una herramienta intuitiva y accesible que acompañe al usuario en todo el proceso de orientación.
- Integrar tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático para ofrecer recomendaciones precisas.
- Brindar información actualizada y relevante sobre carreras universitarias y salidas laborales.

La solución propuesta por OVO busca enfrentar esta problemática mediante la implementación de un sistema digital que:

- Realice un análisis continuo del perfil vocacional del estudiante.
- Facilite el proceso de orientación a través de una plataforma interactiva y de fácil acceso.
- Mejore la precisión de las orientaciones mediante tecnologías como IA y aprendizaje automático.
- Proporcione información relevante y actualizada sobre trayectorias profesionales.

OVO está diseñado para implementarse de manera progresiva en instituciones educativas, permitiendo que tanto estudiantes como profesionales de orientación accedan a una herramienta integral. Es importante aclarar que OVO complementa, sin sustituir, el rol del orientador vocacional.

En este trabajo se describe el diseño y desarrollo del sistema, incluyendo la metodología de organización del proyecto, las tecnologías implementadas, las funcionalidades desarrolladas y conclusiones.

**Trabajos Relacionados**

Luego de analizar las problemáticas asociadas a la orientación vocacional, se realizó un relevamiento de sistemas informáticos existentes relacionados con esta temática. El objetivo del relevamiento fue identificar los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



problemas y necesidades de estas plataformas, con el fin de implementar soluciones adecuadas en OVO.
Las aplicaciones relevadas fueron FCAD[2], EDUMATCH [3], CAXSTUDIO [4] y NoSeQueEstudiar.net [5]. En forma resumida, las problemáticas encontradas fueron las siguientes:

- La falta de seguimiento posterior a la realización de los tests vocacionales.
- Interfaces poco intuitivas y con baja usabilidad.
- Información desactualizada o incompleta sobre carreras y salidas laborales.
- Limitaciones en la personalización del análisis vocacional.
- Acceso restringido o condicionado a resultados detallados de los tests realizados.
- Las necesidades detectadas fueron:
- Ofrecer un análisis vocacional continuo y adaptativo según el perfil del usuario.
- Proveer información completa y actualizada sobre carreras universitarias y salidas laborales.
- Brindar interfaces intuitivas y amigables que faciliten el uso de la plataforma.
- Integrar tecnologías avanzadas como inteligencia artificial para recomendaciones más precisas y personalizadas.
- Generar reportes detallados y métricas que permitan evaluar la eficacia del proceso vocacional.

**Objetivo**

El objetivo del proyecto es proveer una herramienta web responsiva e innovadora que facilite y centralice el proceso de orientación vocacional para estudiantes que se encuentran próximos a elegir su carrera universitaria. OVO pone especial énfasis en brindar un análisis personalizado y seguro basado en tecnologías avanzadas como inteligencia artificial y aprendizaje automático. Además, busca proporcionar información actualizada y precisa sobre las distintas carreras y salidas laborales, aportando informes y métricas que permitan evaluar la efectividad del resultado y la calidad de las decisiones tomadas por los usuarios.

**Módulos que Componen al Sistema**

**Módulo de Seguridad**

Se encarga de que cada usuario acceda a la aplicación de acuerdo con los permisos correspondientes a su rol, de la adecuada autenticación de usuarios, del mecanismo de respaldo de la información y de los procedimientos para su restauración, de la gestión de perfiles de usuarios, de la asignación dinámica de permisos, de la visualización del historial de accesos y de la auditoría de las acciones realizadas en el sistema.

**Módulo de Usuarios**

Se encarga del registro de nuevos usuarios solicitando sus datos personales y correo electrónico, que será utilizado para el inicio de sesión una vez verificado, de la baja lógica de cuentas, de la recuperación de contraseñas, de la gestión de las preferencias del usuario, de la visualización del histórico de tests realizados y de sus resultados, de la eliminación de respuestas previas de los tests, de la consulta de carreras e instituciones académicas y de la gestión del perfil de usuario, incluyendo el consentimiento a las políticas de uso y protección de datos personales al momento del registro.

**Módulo de Instituciones**

Se encarga del registro de instituciones académicas mediante el formulario de alta correspondiente, completando los datos necesarios para validar su existencia y legitimidad, de la visualización y gestión de los datos por parte del administrador para su aprobación, seguimiento o denegación, de la administración de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



carreras asociadas a cada institución incluyendo su búsqueda, edición y eliminación, de la relación de las carreras con las aptitudes evaluadas, de la gestión de preguntas frecuentes mediante la incorporación, edición o eliminación de ítems, y de la administración de material complementario, pudiendo incluir texto, contenido multimedia o enlaces externos, garantizando que cada carrera cuente con su información esencial antes de ser publicada.

**Módulo de Tests**

El módulo de test constituye una de las funcionalidades centrales del sistema OVO, ya que permite a los estudiantes realizar los cuestionarios vocacionales que servirán de base para el análisis de sus aptitudes e intereses. Este módulo se encarga de:

- Permitir a los estudiantes la realización del cuestionario tantas veces como lo soliciten.
- Recuperar el progreso del último cuestionario pendiente.
- Revisar las respuestas anteriores del cuestionario en curso.
- Ofrecer la opción de borrar dichas respuestas y comenzar nuevamente.

A través de los servicios de Amazon Bedrock, el sistema utiliza un modelo de lenguaje de gran escala (LLM) para generar preguntas personalizadas y analizar las respuestas en tiempo real, identificando patrones de interés, aptitudes y motivaciones en los estudiantes.

En la Figura 2 se presenta la Pantalla de registros emocionales dentro del historial, donde se refleja el inicio de la funcionalidad de test.

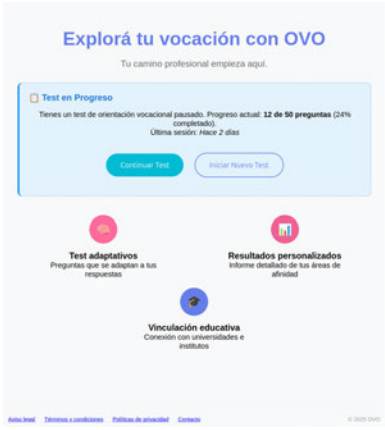



*Figura 2: Pantalla de registros emocionales dentro del historial*

**Módulo de Estadísticas**

Se encarga de recopilar y presentar de forma estadística toda la información histórica disponible, anonimizando los datos personales, de la visualización de métricas de uso del test y sus versiones por usuario, institución y carrera, y de la provisión de tableros de estadísticas diferenciados para administradores del sistema, instituciones y estudiantes.

En la Figura 3: Pantalla de visualización de actividades se muestra un ejemplo de pantalla de visualización de actividades, que refleja cómo los datos son presentados de manera gráfica e interactiva, permitiendo un análisis ágil y una mejor toma de decisiones.




*Figura 3: Pantalla de visualización de actividades*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Módulo de Backup y Recuperación**
Se encarga de la gestión de la persistencia de los datos recopilados, de la configuración de respaldos automáticos y de los procedimientos para la recuperación de la información en caso de pérdida de conectividad o eventos destructivos.

**Módulo de Administración del Sistema**
Se encarga de la gestión y validación de solicitudes de instituciones mediante una lista ordenada y filtrable de peticiones pendientes, aprobadas o rechazadas, incluyendo sus fechas y datos relevantes, de la visualización de los detalles de cada solicitud y la posibilidad de tomar acciones como aprobar, rechazar, bloquear o eliminar peticiones, de la administración de usuarios y sus roles con funciones para crear, borrar, bloquear o resetear cuentas de estudiantes e instituciones, así como de la creación, edición y eliminación de carreras y de la gestión de catálogos y parámetros del sistema, incluyendo tipos de carrera, países, provincias, localidades, géneros, estados de usuario, permisos, grupos, tipos de institución, modalidades de carrera, aptitudes, estados de acceso, tipos de acción, estados de institución, estados de carrera e instituciones, y configuraciones de respaldo.
En la Figura 4 Pantalla Principal Administrador se muestra el listado de las configuración disponibles, que forma parte de la interfaz de administración y evidencia la capacidad del sistema para centralizar y organizar la información de manera eficiente.

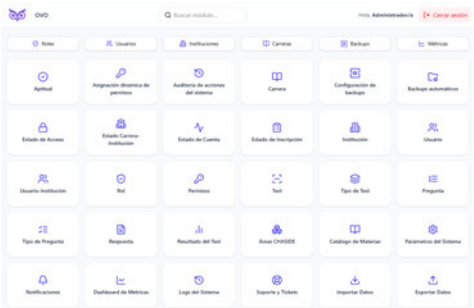


*Figura 4: Pantalla Principal Administrador.*

**Funcionalidades Principales**
El modelo funcional elegido se basa en requisitos funcionales que incluyen una o varias historias de usuario. A continuación, se resumen las funcionalidades del sistema para cada actor involucrado:

Cualquier usuario de la plataforma puede:
- Iniciar y cerrar sesión en el sistema.
- Registrarse en la plataforma.
- Visualizar una landing page como usuario no registrado.
- Visualizar y modificar sus datos personales.
- Consultar términos y condiciones de uso.
- Restablecer su contraseña.

Un estudiante puede:
- Realizar y visualizar resultados de tests vocacionales.
- Acceder a información actualizada sobre carreras y salidas laborales.
- Recibir recomendaciones personalizadas basadas en su perfil.
- Visualizar métricas e informes sobre su proceso de orientación.

Una institución puede:
- Visualizar resultados de los test.
- Administrar carreras de la institución.
- Gestionar información sobre las carreras e institución.
- Visualizar informes estadísticos.

Un administrador del sistema puede:
- Gestionar usuarios y perfiles del sistema.
- Auditar actividades y modificaciones realizadas.
- Realizar copias de seguridad y recuperación del sistema.
- Configurar variables y personalizaciones del sistema.
- Administrar la seguridad y confidencialidad de los datos.

En la Figura 5: Diagrama de casos de uso de módulos se proporciona un diagrama de casos de usos siguiendo las directrices de UML, para mostrar la interacción entre los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



módulos del sistema y los actores involucrados, representando cómo se relacionan los diferentes componentes con los usuarios.

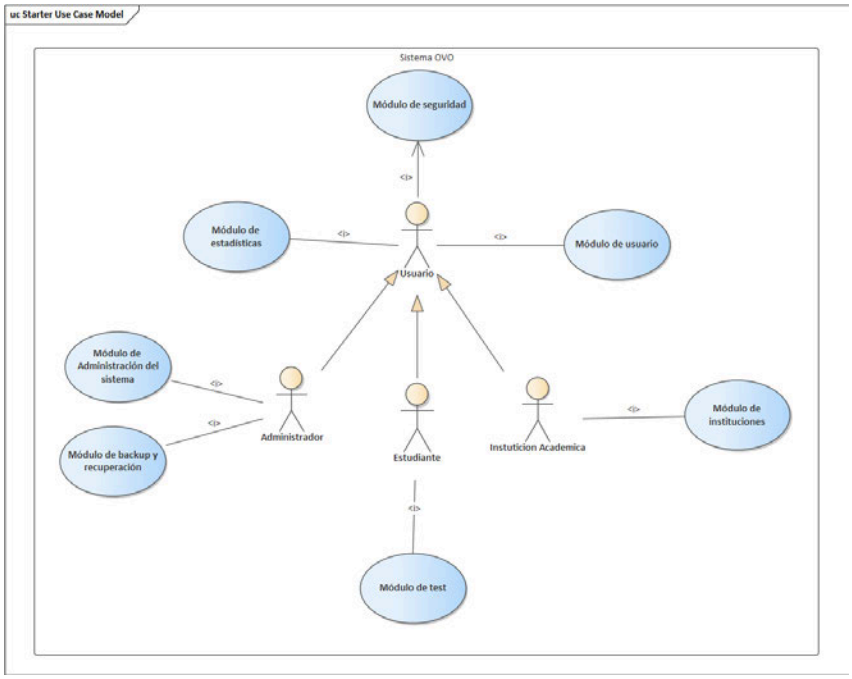



*Figura 5: Diagrama de casos de uso de módulos*

**Modelo de Datos**

Para realizar el modelo de datos, se eligió utilizar un diagrama de clases de entidad, que muestra las entidades principales del sistema, sus atributos y las relaciones entre ellas. Debido a que el modelo completo cuenta con un número elevado de entidades, en la Figura 6: Diagrama de clases de entidad reducido se presenta una versión con las entidades más relevantes para el proceso de orientación vocacional, omitiendo algunos atributos secundarios para favorecer la comprensión.

Las entidades incluidas en esta vista reducida son Usuario, Institución, Carrera, Aptitud y Test, junto con sus relaciones a través de tablas intermedias como CarreraInstitucion, AptitudCarrera y TestAptitud. Además, se incluyen entidades auxiliares como EstadoUsuario y UsuarioEstado para gestionar la vigencia de estados en la plataforma.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



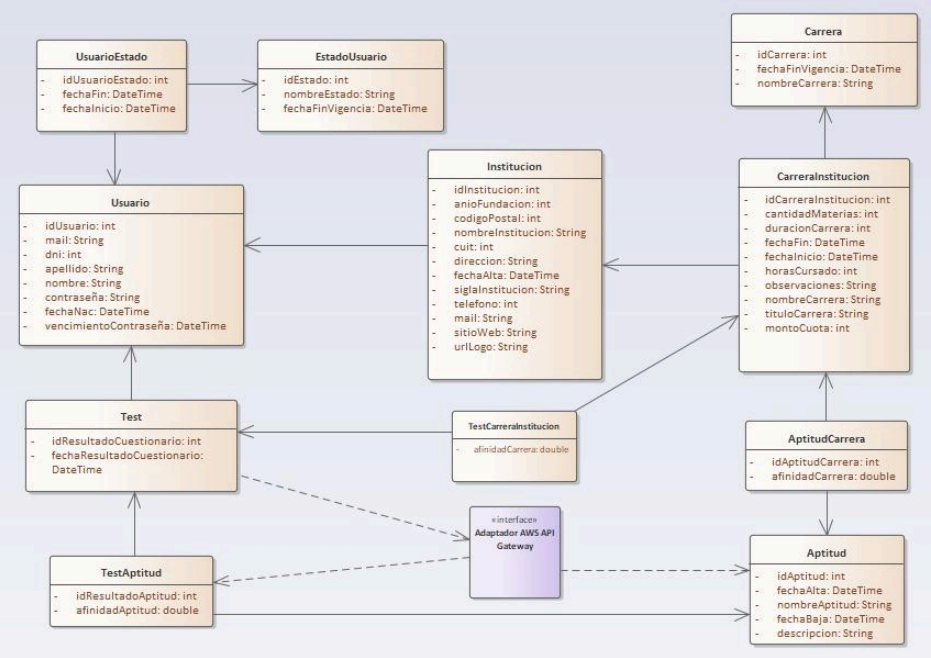



*Figura 6: Diagrama de clases de entidad reducido*

**Arquitectura del Software**

Para el desarrollo de la solución propuesta, se decidió utilizar una arquitectura orientada a servicios en la nube mediante AWS. El frontend es una aplicación web (SPA) que se distribuye a través de Amazon CloudFront y se aloja en Amazon S3, garantizando una entrega rápida y segura de contenidos mediante certificados SSL/TLS gestionados por AWS Certificate Manager y DNS resuelto por Amazon.

La autenticación y gestión de usuarios se realizan utilizando Amazon Cognito, permitiendo un acceso seguro y personalizado. Todas las solicitudes

desde la aplicación web se gestionan a través de Amazon API Gateway, que coordina la comunicación con funciones AWS Lambda.

Los datos del sistema se almacenan en una base de datos relacional administrada por Amazon RDS utilizando una instancia de MariaDB, a la cual las funciones Lambda acceden mediante RDS Proxy para mejorar la gestión de conexiones y rendimiento. Finalmente, para la integración avanzada de inteligencia artificial, aprendizaje automático, y para la resolución del test vocacional se utiliza Amazon Bedrock.

En la Figura 7: Diagrama de arquitectura se proporciona un diagrama de arquitectura que resume gráficamente la interacción entre los componentes mencionados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



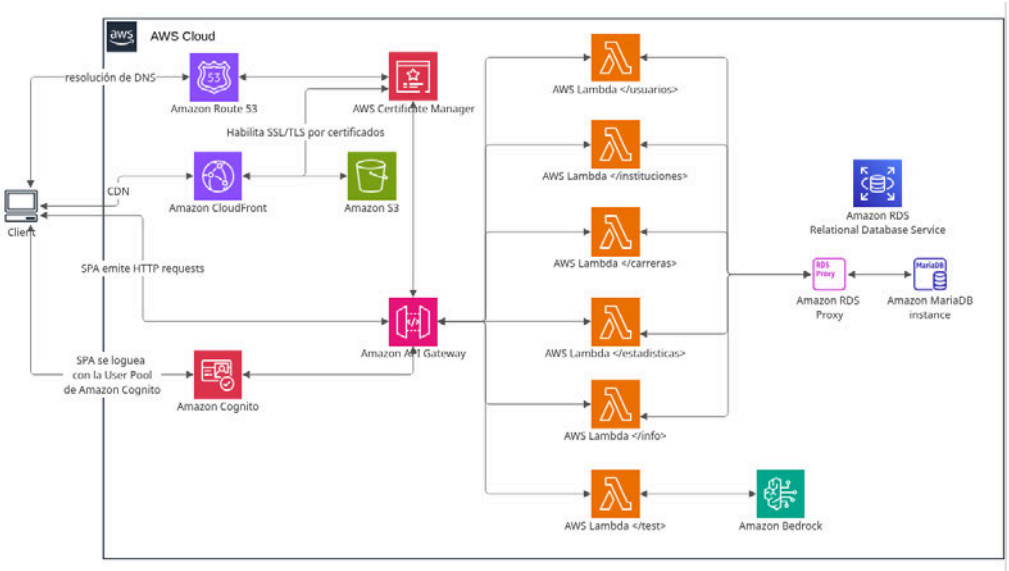



*Figura 7: Arquitectura del sistema.*

**Metodología y Tecnologías Utilizadas**

Para el desarrollo del proyecto, se eligió la metodología ágil Kanban, que promueve una gestión visual y colaborativa del trabajo, facilitando entregas continuas e iterativas. La metodología Kanban permite una adaptación rápida a cambios y una comunicación fluida dentro del equipo de trabajo, garantizando la entrega progresiva de un producto funcional y de calidad.

Las herramientas utilizadas a lo largo del proyecto incluyen:

- Git[6]: software de control de versiones para la gestión colaborativa del código fuente.
- Google Drive [7], ProjectLibre [8], Jira [9] y Confluence [10]: para la gestión y documentación del proyecto.
- Enterprise Architect [11], Diagrams[12] y Figma [13]: para el diseño, modelado y prototipado del sistema e interfaces.
- Typescript [14] y React[15]: para el desarrollo frontend y backend de la aplicación web.
- Python[16]: lenguaje de programación adicional para la lógica avanzada y servicios específicos.
- mariaDB[17]: sistema de gestión de base de datos relacional para almacenar y gestionar datos.
- AWS Lambda [11] y Amazon S3 [10]: servicios en la nube para el alojamiento y ejecución de funcionalidades específicas del sistema.
- WhatsApp[18]: Canal de comunicación informal, para el día a día.
- Discord[19]: Canal de comunicación formal, para reuniones.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El desarrollo OVO, con todos los procesos que eso conlleva, representa un avance significativo en la digitalización, simplificación y modernización de los test vocacionales. Las funcionalidades

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que hacen de OVO una solución eficaz y necesaria en el contexto actual, se valen de que no están fácilmente disponibles en los sistemas existentes o no se encuentran centralizadas en una única plataforma. Además, que se trate de una plataforma web hace que sea más accesible para los usuarios, y desde distintas plataformas. Asimismo, se evaluaron y estudiaron cuidadosamente las posibles tecnologías y metodologías a utilizar durante el desarrollo, de acuerdo a las aptitudes de cada miembro del equipo y a las posibilidades de capacitación de cada uno, teniendo como resultado un proceso de trabajo eficiente y de calidad.

Sin embargo, aún quedan áreas por mejorar y explorar en futuros trabajos sobre OVO, como la implementación de un chat interno entre estudiantes e instituciones, de modo que se elimine totalmente la necesidad de utilizar otros sistemas para la comunicación entre ellos.

**Agradecimientos**

Agradecemos a todos los docentes que nos han formado durante nuestra carrera universitaria, cuyos conocimientos y valores transmitidos son cruciales en la realización del proyecto presentado.

**Referencias**

[1] CONEAU (2023). Permanencia de las y los estudiantes en la universidad. Disponible en: https://www.coneau.gob.ar/archivos/publicaciones/PermanenciaEstudiantesUniversidad.pdf

[2] Facultad de Ciencias de la Administración (UNER). Test de orientación vocacional. Disponible en: https://www.fcad.uner.edu.ar/test/

[3] BuscoUniversidad – Edumatch. Plataforma de orientación vocacional. Disponible en: https://www.buscouniversidad.com.ar/edumatch/intro

[4] CAX Studio. Herramienta de orientación y test vocacional. Disponible en: https://caxstudio.com/

[5] NoSéQuéEstudiar.net. Plataforma de test y orientación vocacional. Disponible en: https://www.nosequeestudiar.net/

[6] W3Schools. Guía de uso de Git. Disponible en: https://www.w3schools.com/git/

[7] Google. Google Drive – plataforma de almacenamiento en la nube. Recuperado el 14 de julio de 2024 de: https://www.google.com/intl/es_ar/drive

[8] ProjectLibre. Software libre de gestión de proyectos. Recuperado el 14 de julio de 2024 de: https://www.projectlibre.com

[9] Atlassian. Jira – software de gestión de proyectos y seguimiento de incidencias. Recuperado el 14 de julio de 2024 de: https://www.atlassian.com/es/software/jira

[10] Atlassian. Confluence – espacio de trabajo colaborativo. Recuperado el 14 de julio de 2024 de: https://www.atlassian.com/es/software/confluence

[11] Sparx Systems. Enterprise Architect – herramienta de modelado UML. Disponible en: https://sparxsystems.com

[12] draw.io. Herramienta de diagramación online. Disponible en: https://www.drawio.com

[13] Figma. Herramienta colaborativa de diseño de interfaces. Disponible en: https://www.figma.com/es-es/

[14] TypeScript. Lenguaje de programación con tipado para JavaScript. Recuperado el 13 de julio de 2024 de: https://www.typescriptlang.org

[15] React. Librería JavaScript para desarrollo de interfaces. Recuperado el 14 de julio de 2024 de: https://es.react.dev

[16] Python. Lenguaje de programación multipropósito. Disponible en: https://www.python.org/about/help/

[17] MariaDB. Sistema de gestión de bases de datos relacional. Disponible en: https://mariadb.org

[18] WhatsApp. Aplicación de mensajería instantánea. Disponible en: https://www.whatsapp.com

[19] Discord. Plataforma de comunicación en línea. Disponible en: https://discord.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Dislu: una plataforma educativa de evaluación y tutoría asistida por IA

**García, Nicolas Francisco; Di Peppe, Gustavo; Fernández Ciro; Kuljich, Pedro; Davrieux, Máximo**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

El atraso de la educación ante el reciente crecimiento de la IA, marcado por el uso incorrecto de los alumnos para la resolución de sus tareas escolares demuestra la necesidad del desarrollo de herramientas con las cuales se pueda apoyar el proceso educativo de manera eficiente y accesible, logrando que las instituciones y profesores puedan adaptarse a estas nuevas tecnologías. Este artículo presenta Dislu, una plataforma educativa de evaluación y tutoría asistida por inteligencia artificial (IA) que busca mejorar la preparación y confianza de los estudiantes para enfrentar instancias de evaluación reales. Este proyecto nace como una continuación de AdaptarIA, un proyecto previo que consistía en una plataforma que permite la generación de material de estudio. La nueva plataforma propone ofrecer a los docentes métricas precisas sobre el desempeño del curso para identificar los temas que requieren refuerzo y brindar apoyo durante la totalidad del proceso educativo, incluyendo generación de material de estudio, tutoría personalizada y evaluación. El resultado de este desarrollo es una herramienta que brinda un mejor apoyo tanto a alumnos como docentes, y todavía tiene potencial para desarrollos futuros que puedan expandir la variedad de las evaluaciones generadas para una mayor adaptación a las necesidades del usuario, así como que el tutor virtual pueda adaptarse al perfil de estudio del alumno.

**Palabras Clave**

Inteligencia artificial, Evaluaciones, Tutorías, Aula virtual, LLM, RAG.

## Introducción

La irrupción de la inteligencia artificial (IA) en la educación ha sido uno de los fenómenos tecnológicos más significativos de los últimos años. Desde la popularización de sistemas generativos como ChatGPT en 2022, las instituciones educativas, los docentes y los estudiantes se han visto expuestos a nuevas formas de interacción con la información y de complementar el proceso de aprendizaje.

Este uso es generalmente independiente por parte del alumno usando una variedad de herramientas y técnicas como puede ser la generación de resúmenes y de cuestionarios sobre el material utilizado.

Sin embargo, también hay casos en los que estas tecnologías son mal usadas o desaprovechadas, tal como puede ser la búsqueda de respuestas sin entendimiento del método para llegar a esta, o la incertidumbre sobre la veracidad del material generado, problema que denota el atraso de la educación que debe buscar la forma de afrontar para que estas herramientas no sean contraproducentes al aprendizaje de los alumnos.

Ante estas circunstancias resulta claro que las instituciones educativas deben adaptarse a las nuevas tecnologías de inteligencia artificial para encaminar a los estudiantes en el uso adecuado de las mismas. Surge entonces el interés en cubrir todas estas necesidades con una sola plataforma que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



también le permita al profesor particular proveer el material a utilizar y controlar el desempeño de los diferentes alumnos.

Es en esta necesidad que se basa la propuesta de Dislu, que aprovechando desarrollos anteriores similares como la plataforma AdaptarIA se plantea como objetivo de este proyecto diseñar y desarrollar una plataforma educativa de evaluación y tutoría asistida por IA. Para cumplir con este propósito, la plataforma planteada presenta los siguientes requisitos:

- Presentar el material adaptado a las necesidades particulares de cada alumno.
- Evaluar al alumno para realizar un seguimiento de su progreso.
- Ofrecer respuesta en tiempo real a las consultas que pueda tener sobre los temas dados.
- Informar al docente tanto del desempeño general del aula como de las dificultades de alumnos particulares.

En este artículo se presentan los aspectos centrales del proyecto, comenzando con un análisis del contexto actual del uso de la IA en la educación. Una vez establecido el mismo, se describen en detalle las funcionalidades de la plataforma y la infraestructura técnica que la sustenta. Finalmente se plantean las conclusiones alcanzadas y se realizan proyecciones a futuro del proyecto.

## 1. Estudio de contexto

Para analizar el contexto actual respecto al uso y a la opinión de la IA en la educación, se utilizaron dos estudios recientes: la investigación global de Bayne et al. [1], enfocada en estudiantes universitarios, y el estudio internacional de Geller et al. [2], que examina la confianza docente en la IA en seis países. Ambos trabajos permiten delinear un panorama comparativo sobre las expectativas y preocupaciones en torno a la adopción de la IA en el ámbito educativo.

### 1.1. La perspectiva de los estudiantes

El estudio de Bayne et al. [1] constituye una de las primeras investigaciones sistemáticas sobre las percepciones estudiantiles frente a ChatGPT y tecnologías similares. Con una muestra que abarca 76 países y recoge las voces de estudiantes de educación superior, el estudio revela un escenario caracterizado por la ambivalencia: mientras que existe una fuerte valoración de los beneficios prácticos de la IA, también persisten reservas relacionadas con su impacto pedagógico y ético.

Entre los aspectos positivos, los estudiantes destacan la capacidad de ChatGPT para:

- Mejorar la productividad académica, facilitando la redacción de ensayos, la síntesis de información y la preparación de exámenes.
- Ofrecer explicaciones inmediatas a dudas concretas, lo que favorece el aprendizaje autónomo.
- Ampliar el acceso al conocimiento, al eliminar barreras de idioma o falta de materiales.

Sin embargo, las preocupaciones no son menores. Una proporción significativa de estudiantes expresa dudas sobre la fiabilidad y exactitud de las respuestas generadas, lo cual compromete la confianza plena en la herramienta. Además, señalan el riesgo de que un uso desmedido de la IA pueda debilitar las habilidades críticas y analíticas,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



generando dependencia y reduciendo la capacidad de construir conocimiento de manera autónoma.

Otro aspecto relevante es la dimensión ética. Bayne et al. [1] muestran que muchos estudiantes se debaten sobre la legitimidad del uso de estas herramientas en contextos académicos, donde existe la línea difusa entre apoyo legítimo y plagio. Este dilema refleja la necesidad de que las instituciones educativas elaboren políticas claras sobre el uso de la IA, de modo que los estudiantes comprendan sus límites y posibilidades.

### 1.2. La perspectiva de los docentes

Desde la perspectiva docente, el trabajo de Geller et al. [2] aporta datos igualmente esclarecedores. La investigación se desarrolló en seis países (Brasil, Israel, Japón, Noruega, Suecia y Estados Unidos), lo cual brinda una visión amplia de las diferencias y similitudes entre contextos educativos y culturales.

El estudio parte de un eje central: la confianza de los docentes en la IA. Los resultados muestran que este factor no está determinado tanto por características sociodemográficas (como edad, género o nivel de experiencia), sino por variables relacionadas con la autoeficacia y el conocimiento sobre la IA. Es decir, los profesores que se sienten más capacitados para entender y utilizar estas herramientas tienden a confiar más en ellas y a percibirlas como aliadas en su práctica docente.

Por otro lado, aquellos que carecen de formación específica en IA muestran mayores reservas y temores, entre los que destacan:

La posibilidad de que la IA sustituya tareas docentes esenciales.

La preocupación por la transparencia de los algoritmos y sus criterios de decisión.

El riesgo de sesgos en los resultados que puedan afectar a los estudiantes.

Una conclusión clave del estudio de Geller et al. [2] es que la formación docente en IA emerge como condición indispensable para su adopción responsable. En lugar de rechazar estas tecnologías, los docentes demandan capacitación y acompañamiento institucional que les permita integrarlas de manera crítica, eficiente y ética en el aula.

### 1.3. Convergencias y tensiones en la adopción de la IA

La comparación de ambos estudios permite identificar puntos de convergencia y también tensiones entre estudiantes y profesores respecto al uso de la IA en la educación.

En términos de convergencias, tanto alumnos como docentes reconocen que la IA ofrece un potencial significativo para mejorar los procesos educativos, ya sea aumentando la productividad (en el caso de los estudiantes) o apoyando la enseñanza (en el caso de los profesores). Asimismo, ambos grupos coinciden en señalar la necesidad de acompañamiento y formación para el uso efectivo de estas herramientas.

En cuanto a las tensiones, los estudiantes tienden a mostrar una actitud más abierta a la experimentación, impulsados por la inmediatez de los beneficios percibidos. En contraste, los docentes adoptan una postura más cautelosa, condicionada por la responsabilidad de garantizar aprendizajes significativos y éticos. Estas tensiones reflejan una diferencia en los roles que cada actor ocupa: mientras que los estudiantes se enfocan en el rendimiento individual, los docentes deben considerar las implicancias colectivas y formativas.

Teniendo en cuenta estos resultados, se justifica la necesidad de desarrollar una plataforma que pueda brindar estas herramientas de IA en un ambiente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



controlado y le otorgue al docente un seguimiento del desarrollo de los alumnos de una manera fácil de usar.

### 1.4. Entrevista adicional a expertos

Para complementar estos resultados, se realizó una entrevista a una maestra de nivel secundario, la cual trabaja en una escuela estatal urbana y en otra rural. Durante la entrevista se habló sobre las dificultades y cambios que experimentó con sus cursos gracias a las tecnologías de IA, y posteriormente se le presentó la plataforma Dislu para obtener su opinión para conocer qué aspectos del mismo resultan más útiles.

Una de las diferencias importantes fue como en la escuela urbana quedaron costumbres de la pandemia como el uso de un aula virtual para compartir el material y entregar las tareas, mientras que en la escuela rural no se implementaron estas prácticas y los alumnos no tienen acceso o conocimientos de cómo manejarse con una computadora o un celular. También se presentó la dificultad ya mencionada de alumnos que utilizan las herramientas de IA para obtener directamente la respuesta, sin aprender el proceso. Otro punto a destacar es que no hay una comunicación fuera del espacio de clases en lo que se refiere a realizar consultas o resolver posibles dudas.

Para presentar el producto, se dio una descripción de las funcionalidades principales y de la modalidad de uso tanto para el docente como para el estudiante. La recepción de la misma fue positiva, destacando la posibilidad de brindar apoyo fuera del horario de clases y la capacidad de generar una mayor autonomía. Adicionalmente, se cuestionó si la herramienta podría llegar a generar desconfianza por parte de los colegas de la entrevistada, a lo que la respuesta fue que no, dado que se mantiene simplemente como una herramienta de apoyo

## 2. Desarrollos previos

La propuesta AdaptarIA es una plataforma que busca ofrecer un servicio de aula virtual donde los profesores puedan subir material de estudio y que este sea presentado en diferentes formatos según las necesidades del estudiante y el tipo de aprendizaje que mejor se adecua a este en el modelo de tipos de aprendizaje de Kolb. Este desarrollo sirvió como guía para la creación de la propuesta actual y fue implementado como parte del mismo en la forma del servicio utilizado para la generación de material de estudio personalizado.

Aparte de este caso, y como se menciona en el propio artículo de la propuesta AdaptarIA, si bien existen alternativas que ofrezcan un espacio de aulas virtuales y alternativas que puedan generar material de estudio por medio de IA, no existe una sola que unifique ambas necesidades sin sobrecargar al docente con tareas adicionales.

## 3. Sobre la plataforma

La plataforma Dislu continua la idea inicial de AdaptarIA de una plataforma que permita a la generación de material de estudio personalizado en base al material subido por el docente, pero mientras AdaptarIA se limitaba únicamente a esta función, Dislu propone brindar apoyo a lo largo de todo el proceso de estudio y contará con cuatro características que la diferenciarán para este fin.

La primera de estas es la elaboración automática de un plan de estudio en base a los contenidos subidos, lo cual dará una estructura inicial adicional.

Además de esto también ofrecerá siempre evaluaciones graduales de los temas aprendidos, en lugar de limitarlos a un único tipo de aprendizaje. Esto le permitirá tanto al

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistema como al docente la capacidad de reaccionar acorde al desempeño del alumno y reforzar los puntos débiles del mismo.

El tercer punto es un tutor personal en la forma de un chatbot, con el cual el estudiante pueda realizar consultas en tiempo real sobre las evaluaciones y el material generado.

Finalmente, el docente contará con métricas del curso para poder juzgar el desempeño general e individual dentro del curso.

### 4.1. Usuarios

La plataforma contará con tres roles para los usuarios: administrador, docente, y alumno.

En primera instancia, el administrador será el representante de la institución y el encargado de crear las aulas y de asignar docentes a estas.

El docente podrá subir material al aula y tendrá acceso a las métricas generales y de los diferentes estudiantes.

Finalmente, el alumno podrá inscribirse a las aulas para acceder al contenido y las evaluaciones.

### 4.2. Tutor personal

Según la definición de IBM, un chatbot puede definirse como un software diseñado para simular una conversación humana, ya sea a través de texto o de voz, con el objetivo de asistir al usuario en la resolución de consultas o en la realización de tareas. Su funcionamiento se apoya en diferentes enfoques tecnológicos, que van desde sistemas basados en reglas predefinidas hasta arquitecturas avanzadas de inteligencia artificial y procesamiento del lenguaje natural [3].

Para implementar un tutor personal que pueda aclarar dudas del alumno sobre el contenido se va a hacer uso de esta tecnología. Las consultas del usuario pasarán desde la plataforma hasta el motor de lenguaje utilizado que devolverá una respuesta en base al conjunto de conocimientos del aula.

### 4.3. Grandes Modelos de Lenguaje

Un gran modelo de lenguaje (LLM por sus siglas en inglés) puede definirse como un modelo de aprendizaje automático entrenado con cantidades masivas de datos textuales, con el propósito de predecir y generar secuencias de lenguaje natural [4].

El proceso de entrenamiento de un LLM es principalmente autosupervisado, lo que implica que el modelo aprende sin necesidad de etiquetas externas creadas por humanos. La tarea básica consiste en predecir la siguiente palabra dentro de un contexto, procedimiento que al repetirse millones o incluso billones de veces durante el entrenamiento, permite al modelo adquirir una representación estadística del lenguaje, y de esta manera generar texto coherente y contextualizado [4].

Para llevar a cabo este proceso el modelo recibe una entrada que se convierte en tokens, es decir, unidades más pequeñas que pueden ser palabras, subpalabras o incluso caracteres. Luego, cada token se transforma en un embedding, una representación vectorial que captura aspectos semánticos y sintácticos del lenguaje. A continuación, el modelo aplica múltiples capas de autoatención y normalización que permiten refinar progresivamente la comprensión del contexto. Finalmente, el sistema genera una salida en forma de secuencia de tokens, que se reconstruyen en texto legible por el usuario [4].

### 4.4. Generación Aumentada por Recuperación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para implementar la plataforma se eligió hacer uso de generación aumentada por recuperación (RAG por sus siglas en inglés).

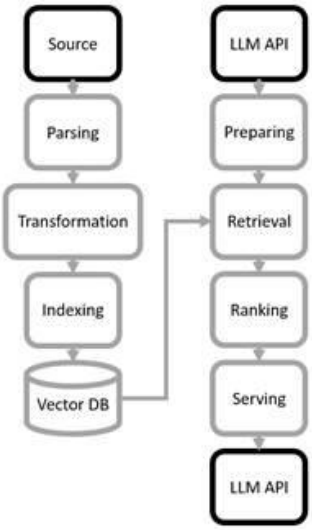



Figura 1: Diagrama de funcionamiento del motor RAG de Vertex AI

RAG consiste en un framework de datos que consiste de las siguientes etapas [5]:

1. Transferencia de datos: Se toman los datos suministrados por el usuario.

2. Transformación de datos: Se prepara los la información para la etapa de indexación, como puede ser por medio de la fragmentación de los mismos

3. Embedding: Se calculan representaciones numéricas de la información, esto es necesario para su almacenamiento en una base de datos vectorial.

4. Indexación de datos: El motor RAG genera índices para optimizar las posteriores consultas.

5. Recuperación: Cuando el usuario realiza una consulta al LLM, el RAG busca en la base de datos vectorial del usuario información relevante para la consulta.

6. Generación: El LLM incluye la información recuperada como contexto con el cual formular su respuesta.

En síntesis, RAG permite el procesamiento de información y su almacenamiento para que esta sea utilizada por LLMs ya entrenados, extendiendo sus capacidades a intereses particulares [6]. Esta tecnología permitirá al chatbot responder consultas de manera eficiente en base al material cargado en el aula.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Como resultado de la investigación preliminar del proyecto se logró concluir que existe una necesidad de herramientas potenciadas con IA que faciliten y complementen el proceso educativo, siendo esta accesible tanto para los alumnos como para los docentes. Se desarrolló entonces una plataforma que satisface estas necesidades, sentando un precedente para futuros desarrollos que busquen suplir estos requerimientos. Se espera que su uso pueda aliviar la carga del docente e incrementar la comprensión de los temas por parte del alumno, mediante el esquema de enseñanza personalizado que presenta, así como también capacitar a los estudiantes en el uso adecuado de herramientas de IA para el aprendizaje.

Para expandir las funcionalidades de la solución en futuras implementaciones, se plantean 2 objetivos a cumplir.

Como primer objetivo se encuentra el incrementar la variedad de formas en la que el sistema permite generar evaluaciones, tal como podría ser la evaluación de presentaciones orales. Esto hará que las evaluaciones puedan reforzar los puntos débiles particulares de cada estudiante, permitiendo que se adapte mejor a las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



necesidades particulares de cada alumno y los prepare para todo tipo de examen.

Además, la funcionalidad del tutor virtual podría ser expandida, para que este se adapte al perfil del estudiante según el modelo de Kolb. Esto le permitiría proveer un mejor apoyo al responder las dudas de manera más eficiente, e incluso ser proactivo en sus sugerencias para alumnos que puedan dudar en realizar la consulta.

Una plataforma que implemente estas funciones, permitiría que el proceso educativo pueda ofrecer una experiencia similar a la ofrecida por un tutor personal, incluso en un aula de numerosos estudiantes.

En síntesis, la plataforma propuesta por el proyecto, además de ser una nueva herramienta que funcione como apoyo a los estudiantes y docentes, busca impulsar en la educación una experiencia de aprendizaje activa y personalizada aprovechando las capacidades de las tecnologías de inteligencia artificial generativa.

**Referencias**

*[1] A. Bayne, G. Waddington, and M. C. G. Rodrigues, "Higher education students' perceptions of ChatGPT: A global study of early reactions," Int. J. of Educational Technology in Higher Education, vol. 21, no. 1, 2024. doi: 10.1186/s41239-024-00439-0. Disponible en : https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0315011*

*[2] G. Geller, A. B. Alhadad, H. U. Harari, et al., "What Explains Teachers' Trust in AI in Education Across Six Countries?," Int. J. of Artificial Intelligence in Education, 2024. doi: 10.1007/s40593-024-00433-x. Disponible en : https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-024-00433-x*

*[3] IBM, "What is a chatbot?," IBM Think, Oct. 2021. [Online]. Dsiponible en : https://www.ibm.com/think/topics/chatbots*

*[4] IBM, "What Are Large Language Models (LLMs)?," IBM Think, [Online]. Available: https://www.ibm.com/think/topics/large-language-models.*

*[5] Google Cloud, "Descripción general del motor de RAG de Vertex AI," Vertex AI Generative AI Documentation, [Online]. Available: https://cloud.google.com/vertex-ai/generative-ai/docs/rag-engine/rag-overview?hl=es-419. [Accessed: Aug. 17, 2025].*

*[6] Amazon Web Services (AWS), "¿Qué es la generación aumentada por recuperación? (RAG)," AWS What is RAG?, [Online]. Available: https://aws.amazon.com/es/what-is/retrieval-augmented-generation. [Accessed: Aug. 17, 2025].*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Strider: asistente inteligente para la planificación y el seguimiento de entrenamientos de atletismo

**Kvitkin Agustina, Manuele Ariel, Mosmann Juan Ignacio, Moyano Lautaro, Otermín Matías**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*La planificación y el seguimiento de entrenamientos en atletas en Argentina, representan actualmente un desafío para entrenadores amateur y semiprofesionales que carecen de herramientas accesibles y adaptadas a sus necesidades reales. Esta situación se ve agravada por la complejidad, el costo y el enfoque excesivamente técnico de las soluciones existentes. Por tal motivo, este Trabajo de Fin de Carrera presenta el desarrollo de Strider, una aplicación diseñada para asistir a entrenadores de atletismo en la estructuración y análisis de planes de entrenamiento, mediante la integración con dispositivos inteligentes ampliamente utilizados por los atletas hoy en día.*

*El sistema fue diseñado bajo una arquitectura en capas, basada en el uso de React para el frontend, .NET en el backend y PostgreSQL como base de datos. El mismo incluye un adaptador para la recolección de datos deportivos desde plataformas de terceros, componente que permite estructurar los entrenamientos y aprovechar el ritmo de los atletas como referencia para estimar el volumen e intensidad de cada sesión de entrenamiento. A partir de estos datos, el sistema genera visualizaciones y alertas orientadas a mejorar la toma de decisiones del entrenador.*

*Actualmente, la solución cuenta con mockups funcionales y módulos principales en desarrollo. Se espera que Strider permita reducir significativamente el tiempo invertido en tareas manuales, optimizar el acompañamiento de atletas, y mejorar la eficiencia operativa de entrenadores, constituyéndose consecuentemente en un claro ejemplo de la evolución de herramientas tecnológicas que promueven soluciones más accesibles y centradas en el usuario final.*

**Palabras Clave**

Atletismo, entrenamiento, $VO_2$Máx, planificación, seguimiento, asistentes inteligentes, aplicación web, dispositivos inteligentes.

## Introducción

En el ámbito del atletismo de fondo[1] y mediofondo[2] en niveles amateur y semiprofesional, los entrenadores enfrentan actualmente crecientes desafíos para realizar un seguimiento efectivo de los múltiples atletas que preparan. En particular, la planificación y el análisis del rendimiento suelen requerir la confección manual de extensas y complejas planillas de cálculos, muchas veces realizadas en papel, otras con la ayuda de algún software de oficina, o algunos con ciertas herramientas que, o bien resultan costosas, o bien no están adaptadas a la realidad concreta de estos contextos. Específicamente, y teniendo en cuenta este último punto, en el mercado actual existen plataformas que permiten visualizar datos de entrenamiento, pero muchas de ellas presentan un exceso de información cruda, sin ofrecer formas simples de organizar y aprovechar los datos recolectados, en función de la ejecución real de cada entrenamiento. Esta sobrecarga de información obliga al entrenador a invertir tiempo en interpretar datos y ajustar planes manualmente.

Con el fin de relevar el contexto actual y comprender mejor esta problemática, se realizó una encuesta a un grupo de entrenadores del ámbito local. Los resultados evidenciaron que, si bien algunos de ellos declararon utilizar herramientas digitales como Garmin Connect (57,1%), Excel (28,6%) o WhatsApp (28,6%), estas soluciones se emplean de manera fragmentada y complementaria, lo que

[1] Una carrera de **fondo** es una prueba de atletismo que implica correr largas distancias, desde los 3.000 metros hasta la maratón (42.195 metros).

[2] Una carrera de **mediofondo** es un prueba de atletismo de media distancia, que abarca desde los 800 metros hasta los 3.000 metros.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



deriva en un flujo de trabajo aún muy dependiente de tareas manuales. Además, un 14,3% indicó directamente no utilizar ninguna herramienta digital. Por otro lado, en cuanto a las principales dificultades identificadas, la mayoría destacó la falta de información fisiológica objetiva, seguida por la carencia de tiempo para planificar individualmente y el poco feedback por parte de los atletas, lo que refuerza la percepción de que las herramientas actuales no logran cubrir de manera efectiva sus necesidades. Finalmente, cabe destacar que la mayoría de los entrenadores consultados supervisa a un número elevado de atletas en simultáneo (más de 30), y manifestó interés en probar nuevas soluciones digitales que permitan ahorrar tiempo y mejorar la calidad del seguimiento.

En base a todas las observaciones hechas precedentemente, surgió Strider, un proyecto que se propone cubrir la brecha presentada con una solución liviana, accesible y funcionalmente orientada a las verdaderas necesidades de este tipo de usuarios. El objetivo de este proyecto es desarrollar e implementar una aplicación web responsive, portable en cualquier dispositivo, que funcione como asistente para entrenadores de atletismo, con el fin de facilitar la planificación y el seguimiento de entrenamientos de manera simple, mediante la integración con dispositivos inteligentes y la generación de información útil basada en los datos recolectados. De este modo, Strider permitirá la automatización (y consecuente agilización) de tareas que cotidianamente se llevan a cabo de manera manual, ofreciendo al mismo tiempo una solución para la gestión eficiente del dominio citado.

A lo largo de este documento se presenta, en primer lugar, el marco teórico, que expone los fundamentos conceptuales y tecnológicos vinculados al entrenamiento deportivo y al uso de plataformas digitales. Posteriormente, en “Elementos de trabajo”, se describen el equipo, la metodología adoptada y los requerimientos que guiaron el desarrollo. Luego, en la sección “La solución”, se detalla la propuesta concreta, incluyendo el diseño funcional, la arquitectura, la base de datos, los aspectos de seguridad, la integración con plataformas deportivas, y el esquema de despliegue en la infraestructura seleccionada. Finalmente, se presentan las conclusiones alcanzadas y las líneas de trabajo futuro que permitirán ampliar y perfeccionar el sistema.

**Marco teórico**

La preparación en deportes de resistencia se ha construido históricamente sobre pilares como la periodización del entrenamiento [1], la regulación de las intensidades [2] y la cuantificación de las cargas de trabajo [3]. Estos enfoques han permitido a los entrenadores organizar de manera más eficaz los ciclos de trabajo, equilibrando la aplicación de estímulos y los procesos de recuperación para optimizar el rendimiento y prevenir la fatiga.

En los últimos años, la incorporación de dispositivos portátiles y sistemas de seguimiento ha transformado el modo en que se monitorea a los atletas. El uso de sensores GPS y wearables para registrar variables fisiológicas y de carga externa se ha consolidado como una herramienta clave en la toma de decisiones [4]. Estas tecnologías aportan datos en tiempo real y con alta precisión, lo que posibilita un análisis más profundo del desempeño y de los factores asociados al riesgo de lesión.

Más recientemente, la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático ha abierto nuevas oportunidades en el ámbito deportivo. Estas metodologías permiten diseñar sistemas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



capaces de personalizar la planificación, anticipar riesgos y ofrecer asistencia directa en el proceso de entrenamiento. Los avances en este campo [5] constituyen el fundamento de propuestas como la presentada, orientadas a combinar el conocimiento científico del deporte con las ventajas de la digitalización para ofrecer un asistente inteligente, accesible y adaptado a las necesidades reales del atletismo.

**Elementos de trabajo**

En la presente sección se describen los componentes principales del trabajo, los cuales incluyen el equipo de trabajo, la metodología aplicada, y la especificación de los requerimientos funcionales y no funcionales.

### 1. Equipo de trabajo

El equipo del proyecto está conformado por cinco integrantes, cada uno de los cuales cumple múltiples roles y posee responsabilidades bien definidas que permiten optimizar recursos, y brindar una cobertura integral de todas las etapas del proyecto. Entre los roles desempeñados se encuentran:

- *Project Manager*, encargado de la gestión de alcance, recursos y comunicación.
- *Líder de Proyecto*, responsable de la coordinación técnica.
- *Administrador de base de datos*, a cargo de la gestión y mantenimiento de la base de datos.
- *Arquitecto de Solución*, encargado de la definición de la arquitectura.
- *Desarrollador Sr.*, responsable del desarrollo del backend.
- *Analista Funcional Sr.*, encargado del levantamiento de requisitos.
- *Diseñador UX,* a cargo del diseño de la interfaz de usuario.
- *Desarrollador Jr*, con la competencia de implementaciones menores y soporte.
- *Tester QA*, quien se ocupa del testing y control de calidad del producto.

### 2. Metodología

El proyecto adoptó un enfoque metodológico híbrido, combinando el modelo en cascada, y el marco de trabajo ágil Scrum. En particular, en la fase inicial se aplicó el enfoque en cascada, debido a su naturaleza secuencial y estructurada, lo que permitió elaborar documentación detallada, estimar de manera más precisa el alcance, riesgos y costos, y ofrecer una visión clara del proyecto a largo plazo.

Las actividades iniciales comprendieron el relevamiento de requisitos mediante entrevistas y encuestas a entrenadores y atletas, el modelado de casos de uso para identificar funcionalidades esenciales, y el diseño de una arquitectura orientada a la modularidad y escalabilidad.

Por su parte, el desarrollo se llevó a cabo mediante un enfoque incremental, adoptando la metodología ágil Scrum. Este marco de trabajo permitió segmentar el proyecto en iteraciones quincenales (sprints) con objetivos específicos y revisiones periódicas, favoreciendo la retroalimentación continua y la priorización dinámica de tareas.

### 3. Requerimientos

Se elaboró un documento formal de Requerimientos Funcionales (RF) y No Funcionales (RNF) que sirvió como guía central para el desarrollo del sistema.

Los Requerimientos Funcionales definen las capacidades clave que debe ofrecer la aplicación, incluyendo:

- Autenticación de usuarios.
- Gestión de planes y sesiones de entrenamiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Registro y consulta de métricas de rendimiento.
- Generación de reportes analíticos.
- Integración con una plataforma de recolección de datos.

Los Requerimientos No Funcionales establecen criterios de calidad y restricciones técnicas, tales como:

- Tiempo de respuesta inferior a 1 segundo en el 95 % de las solicitudes.
- Cifrado de datos en tránsito.
- Compatibilidad multiplataforma.
- Respaldo automático diario de la base de datos.

El análisis de mercado evidenció una brecha tecnológica: la ausencia de una herramienta unificada que combine la planificación y seguimiento de entrenamientos, el registro de métricas fisiológicas, y comunicación entre entrenadores y atletas, en una única plataforma.
En conjunto, la definición clara de roles, el uso de una metodología ágil y la identificación de los requerimientos permiten estructurar el trabajo de manera ordenada, asegurando que el desarrollo de la solución responda de forma efectiva a las necesidades detectadas.

**La solución**
En esta sección se detallan los principales componentes y aspectos técnicos de la solución propuesta, incluyendo el diseño funcional del sistema, su arquitectura, la estructura de base de datos, las consideraciones de seguridad, los mecanismos de integración con plataformas externas de recolección de datos, y el proceso de despliegue.

## 1. Diseño funcional

El sistema se compone de un conjunto de módulos funcionales que permiten cubrir las principales necesidades de los entrenadores y atletas, facilitando la planificación, el seguimiento y la comunicación dentro del proceso de entrenamiento.

### A. Gestión de usuarios y roles

El sistema contempla dos roles principales, cada uno con funcionalidades específicas adaptadas a sus responsabilidades:

- Entrenador: creación y asignación de planes, gestión de sesiones y visualización de métricas de sus atletas.
- Atleta: consulta de su plan, registro de evaluaciones post-sesión y acceso a reportes de rendimiento.

### B. Planificación de entrenamientos

La aplicación incluye herramientas para la creación, organización y modificación de planes:

- Estructuración en macrociclos, mesociclos y microciclos.
- Creación de sesiones con parámetros de volumen, intensidad, tipo de trabajo y observaciones técnicas.
- Reprogramación de sesiones con registro del motivo.

### C. Registro de métricas y evaluaciones

El sistema permite almacenar información objetiva y subjetiva de cada sesión:

- Carga manual o importación desde plataformas externas, de datos como frecuencia cardíaca, ritmo[3], $VO_2Máx$[4], distancia y tiempos.

[3] El **ritmo** es la medida utilizada para expresar la velocidad de un atleta de fondo o medio fondo, en términos del tiempo requerido para completar un kilómetro. Se expresa en min/km.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Evaluaciones subjetivas (RPE, sensaciones, molestias) asociadas a cada sesión.

### D. Visualización y análisis

Este aspecto facilita la interpretación de los datos a través de distintas vistas y reportes:

- Vista semanal o mensual del plan de entrenamiento.
- Reportes comparativos por períodos, con gráficos de evolución.
- Filtrado por tipo de actividad, distancia o métrica.

### E. Comunicación y feedback

Desde este punto de vista, Strider favorece la interacción y el seguimiento en tiempo real:

- Comentarios vinculados a sesiones o competencias.
- Notificaciones automáticas ante cambios en el plan o métricas fuera de rango.

## 2. Arquitectura del sistema

El sistema adopta una arquitectura multicapa que organiza responsabilidades y facilita su mantenimiento:

- Capa de presentación: aplicación web responsive desarrollada con React.js, optimizada para uso en PC, tablets y smartphones. Su interfaz intuitiva permite a los usuarios visualizar planes de entrenamiento, métricas y notificaciones.
- Capa de aplicación (backend): desarrollada en .Net 8.0 y en lenguaje C# que gestiona la lógica de negocio, las validaciones, la seguridad, y la orquestación del flujo de datos.
- Capa de datos: base de datos PostgreSQL para el almacenamiento estructurado de datos de usuarios, planes, sesiones, métricas y logs de sistema.
- Capa de integración: conexión con la API de una plataforma de seguimiento deportivo para importar automáticamente entrenamientos y métricas fisiológicas. Este componente se desarrolló en Python.
- Capa de notificaciones: módulo que envía alertas a través de correo electrónico, y notificaciones push (en futuras versiones móviles).

## 3. Base de datos

El diseño de la base de datos del sistema se llevó a cabo utilizando PostgreSQL, aplicando rigurosamente los principios de normalización para garantizar la integridad referencial y la consistencia de los datos.

Para asegurar la trazabilidad de las modificaciones, se implementaron triggers que registran automáticamente los cambios en las tablas correspondientes. Asimismo, se estableció un sistema de copias de seguridad automáticas diarias que garantiza la disponibilidad y recuperación de la información.

## 4. Seguridad

El sistema de autenticación y autorización se basa en el uso de tokens, complementado con el cifrado de contraseñas mediante el algoritmo HMAC-SHA256, asegurando la protección de las credenciales de los usuarios.

La transmisión de datos se protege en tránsito a través del protocolo HTTPS con cifrado TLS. Adicionalmente, la información sensible almacenada en la base de datos se resguarda mediante cifrado en reposo.

Por último, se implementaron controles de

[4] Aunque tiene una definición médica específica, en este contexto, **$VO_2$Máx** se refiere al ritmo máximo al que puede correr un atleta en una prueba de fondo o medio fondo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



acceso basados en roles (Role-Based Access Control, RBAC) que regulan y restringen el acceso a los distintos endpoints conforme a las responsabilidades y privilegios asignados a cada usuario.

## 5. Integración con plataformas de datos deportivas

El sistema contempla la integración con plataformas de recolección y análisis de datos provenientes de dispositivos portátiles de medición de rendimiento deportivo (wearables), a fin de obtener métricas precisas y actualizadas de cada atleta. La integración inicial se llevará a cabo con Garmin Connect [6], plataforma cuya elección se encuentra respaldada por las encuestas dirigidas a atletas y entrenadores, en las cuales la mayoría indicó utilizar o preferir dispositivos de esta marca para el registro y análisis de su rendimiento.

La integración con Garmin Connect se implementó utilizando el protocolo OAuth 2.0 para autenticar de forma segura la cuenta de cada usuario, evitando el manejo directo de credenciales, y asegurando el cumplimiento de buenas prácticas en materia de protección de datos. El servicio responsable, desarrollado en Python, se conecta a la API REST de Garmin para obtener datos de entrenamientos almacenados en los dispositivos wearables utilizados.

Los datos recuperados —incluyendo duración, distancia, frecuencia cardíaca y otras métricas— son procesados y normalizados para garantizar su coherencia antes de almacenarlos y asociarlos a las sesiones correspondientes en la base de datos de la aplicación.

Asimismo, el servicio también gestiona el ciclo de vida de los tokens OAuth, incluyendo su renovación automática, y contemplando mecanismos para el manejo de errores y sincronización periódica, asegurando así la actualización continua y confiable de la información deportiva.

## 6. Despliegue

La arquitectura está diseñada para ejecutarse en un entorno en la nube. Actualmente, el sistema contempla la ejecución de todos los servicios en una única instancia Amazon EC2, lo que optimiza recursos y simplifica la administración.

Se emplea un entorno basado en contenedores Docker, donde cada servicio principal se ejecuta de forma independiente:

- Contenedor Frontend: sirve la aplicación web desarrollada en React.js.
- Contenedor Backend: implementado en .Net 8.0 (C#), gestiona la lógica de negocio, la seguridad y la comunicación con la base de datos.
- Contenedor API de Integración: desarrollado en Python, maneja la conexión con Garmin Connect.

La base de datos PostgreSQL se aloja en Amazon RDS, lo que garantiza alta disponibilidad, backups automáticos, recuperación ante desastres y administración simplificada. La comunicación entre la instancia EC2 y el servicio RDS se realiza a través de una VPC privada para maximizar la seguridad.

Este esquema de despliegue permite:

- Implementaciones rápidas y reproducibles.
- Aislamiento entre servicios, reduciendo el riesgo de fallos cruzados.
- Escalabilidad vertical de la instancia EC2 y escalabilidad administrada de la base de datos en RDS.

La Figura 1 presenta el esquema de despliegue propuesto para el sistema,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mostrando la disposición de los servicios en contenedores Docker dentro de una instancia Amazon EC2, así como la comunicación segura con la base de datos PostgreSQL alojada en Amazon RDS. Este diagrama resume la arquitectura descrita previamente y facilita la visualización de las capas y los flujos principales de datos en el entorno de producción.

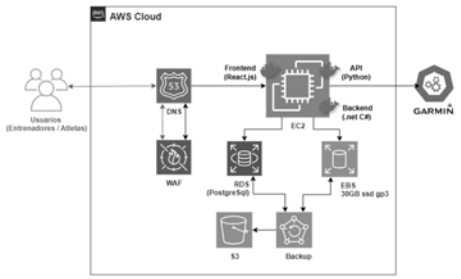



**Figura 1.** Diagrama de despliegue del sistema.

## 7. Componentes de la infraestructura

El entorno de despliegue se compone de los siguientes elementos, implementados en Amazon Web Services (AWS):

- Route 53 (DNS): gestiona la resolución de nombres y apunta al dominio del sistema.
- Instancia EC2: aloja los contenedores Docker correspondientes a los módulos principales:
  - Frontend: encargado de la capa de presentación.
  - Backend: responsable de la lógica de negocio, seguridad y comunicación con la base de datos.
  - API de integración: desarrollada en Python, conecta con la plataforma Garmin Connect para la importación de métricas y entrenamientos.
- Amazon RDS (PostgreSQL): servicio independiente para la persistencia de datos que garantiza alta disponibilidad y facilita escalar solo la capa de base de datos si fuera necesario.
- Amazon S3: utilizado para el almacenamiento de copias de seguridad de la base de datos.

Esta combinación de factores hace que AWS no solo sea una plataforma tecnológica sólida para el presente, sino también una base flexible para evolucionar la solución en el futuro, incorporando nuevos servicios o ampliando su alcance sin comprometer estabilidad ni seguridad.

**Conclusión y trabajos futuros**

Con las investigaciones realizadas sobre la problemática abordada, se logró concluir que existe un vacío en lo que respecta a la accesibilidad, operatividad y eficiencia brindadas por herramientas ofrecidas en el ámbito de estudio. Al mismo tiempo, las mismas ponen de manifiesto la importancia de contar con soluciones tecnológicas que, sin recurrir a funcionalidades exacerbadamente complejas, logren adaptarse a la realidad operativa de entrenadores y atletas en entornos amateur y semiprofesional. Por ello, la propuesta busca reducir la carga administrativa del entrenador y mejorar la claridad en el seguimiento de la planificación deportiva. Esto último será posible gracias a la información visual generada por la solución, la cual es de verdadera utilidad para la toma de decisiones de los entrenadores.

Por otro lado, se espera que Strider sea además un claro exponente de democratización tecnológica, al mismo tiempo que permita un incremento de la competitividad local y regional. Este último punto se evidencia en el hecho de que los entrenadores podrán mejorar el rendimiento de los atletas, lo que, a largo plazo, se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



traduce en la elevación del nivel de competencia en eventos regionales.

Actualmente se han desarrollado todos los módulos principales para el primer MVP, los cuales tuvieron los resultados esperados y fueron validados satisfactoriamente por expertos en el tema.

Finalmente, si bien la herramienta no incorpora actualmente algoritmos de Inteligencia Artificial, su arquitectura modular facilita su futura inclusión, permitiendo que el sistema evolucione hacia capacidades más analíticas y predictivas. Esta visión escalable abre la puerta a desarrollos que potencian la personalización de los planes de entrenamiento y optimizan la detección temprana de riesgos, tales como sobreentrenamiento o lesiones. En este sentido, como futuras líneas de trabajo se considera:

- El desarrollo de una aplicación móvil complementaria, con el objetivo de que el sistema evolucione a una solución multiplataforma.
- La integración de modelos predictivos para el ajuste dinámico de planes.
- Funcionalidades sociales entre entrenadores, que permitirán el intercambio de planes de entrenamiento y la creación de una comunidad activa orientada a la mejora continua. Esto favorecerá el trabajo colaborativo y la generación de redes de contacto entre entrenadores, aspectos que en conjunto beneficiarán de forma indirecta a los atletas bajo su dirección.

**Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por su acompañamiento, orientación y compromiso durante el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, agradecemos especialmente a Juan Sabate, entrenador de atletismo, por compartir su experiencia y conocimientos sobre la práctica y gestión deportiva, los cuales resultaron fundamentales para la concepción y validación de la propuesta presentada.

**Referencias**

[1] Bompa, T. O., & Haff, G. G. (2009). *Periodización: Teoría y metodología del entrenamiento* (5.ª ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

[2] Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervalos, umbrales y larga distancia: el papel de la intensidad y la duración en el entrenamiento de resistencia. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 4*(1), 50–57.

[3] Mujika, I. (2017). Cuantificación de las cargas de entrenamiento y competencia en deportes de resistencia: métodos y aplicaciones. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*(Supl. 2), S29–S217.

[4] Düking, P., Fuss, F. K., Holmberg, H. C., & Sperlich, B. (2016). Tecnología portátil para la evaluación del rendimiento en deportes de resistencia: una revisión sistemática. *Sports Medicine, 46*(7), 861–879.

[5] Claudino, J. G., Capanema, D. O., de Souza, T. V., Serrão, J. C., Machado Pereira, A. C., & Nassis, G. P. (2019). Enfoques actuales sobre el uso de inteligencia artificial para la evaluación del riesgo de lesiones y la predicción del rendimiento en deportes de equipo: una revisión sistemática. *Sports Medicine – Open, 5*(1), 28.

[6] Garmin Connect. Disponible en: https://connect.garmin.com/

**Datos de contacto**

*Kvitkin, Agustina. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*aguskvitkin@frba.utn.edu.ar*

*Manuele, Ariel. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*gman@frba.utn.edu.ar*

*Mosmann, Juan Ignacio. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*jmosmann@frba.utn.edu.ar*

*Moyano, Lautaro. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*lamoyano@frba.utn.edu.ar*

*Otermín, Matías. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*motermn@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Horas al Mando: propuesta de plataforma digital para la gestión integral de horas de vuelo y documentación en la aviación civil argentina

**Abstract**
La aviación civil argentina sigue dependiendo de procesos manuales para el registro de horas de vuelo, el foliado de libros y la gestión documental ante la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). Esta investigación propone el diseño e implementación de *Horas al Mando*, una plataforma web y móvil que digitaliza el registro de horas, automatiza la certificación y facilita la coordinación de turnos y exámenes. A partir de estudios de mercado, análisis estratégicos y proyecciones financieras, se demuestra que la solución es viable, rentable y capaz de mejorar la trazabilidad y la seguridad operacional en el ecosistema de pilotos, aeroclubes, escuelas de vuelo y autoridades reguladoras.

**Palabras clave**
Gestión de horas de vuelo; Foliado digital; Aviación civil; ANAC; Plataforma web; Transformación digital.

## 1. **Introducción**

La aviación civil argentina comprende una comunidad de más de 60 000 pilotos con licencias activas, alrededor de 220 aeroclubes y cientos de aeródromos [01]. A diferencia de otros sectores que se han digitalizado, los pilotos continúan registrando sus horas de vuelo en libros de papel que deben foliarse y rubricarse; las escuelas de vuelo guardan carpetas con certificados médicos y habilitaciones; y los trámites ante la ANAC se realizan presencialmente [02]. Esta metodología acarrea retrasos, errores y pérdida de trazabilidad. Las investigaciones realizadas muestran que más del 80 % de los pilotos consultados estaría dispuesto a utilizar un sistema digital homologado para registrar sus horas y que un 75 % ha tenido dificultades para coordinar exámenes o verificar la vigencia de sus certificados. La digitalización de estos procesos representa una oportunidad para mejorar la eficiencia, la transparencia y la seguridad de la aviación civil.

## 2. **Objetivo principal**

Desarrollar e implementar una plataforma digital que permita a los pilotos registrar sus horas de vuelo y gestionar su documentación de manera electrónica, a los aeroclubes y escuelas de vuelo administrar turnos y exámenes y a la ANAC validar de forma oficial los registros, mejorando la eficiencia y la trazabilidad en la aviación civil argentina.

## 3. **Objetivos específicos**

Para alcanzar el objetivo principal se plantean los siguientes objetivos específicos, cada uno orientado a un grupo de interés:

- **a. Registro y control para pilotos**: desarrollar funcionalidades que permitan a los pilotos cargar sus horas de vuelo en formato digital, con doble validación (por el instructor y por la ANAC) y control automático de vigencia de licencias y certificados médicos.
- **b. Gestión para aeroclubes y escuelas de vuelo**: proporcionar módulos para programar turnos de vuelo, asignar aeronaves e instructores, verificar habilitaciones y presentar a los alumnos en exámenes teóricos y prácticos ante la ANAC.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **c. Foliado digital homologado**: implementar un mecanismo de foliado digital que sustituya al libro de vuelo físico, asignando a cada registro un folio único y garantizando su autenticidad mediante firma electrónica y estándares definidos por la ANAC.
- **d. Modelo de negocio freemium**: diseñar un modelo en el que la versión básica sea gratuita para pilotos, mientras que aeroclubes, escuelas de vuelo y la ANAC accedan a servicios premium mediante suscripciones y cobros por el foliado electrónico y otros servicios complementarios.
- **e. Análisis de datos e inteligencia**: integrar herramientas analíticas que permitan generar estadísticas de uso, detectar patrones de formación, prever vencimientos y ofrecer recomendaciones para mejorar la seguridad operacional.
- **f. Plan de despliegue gradual**: definir un plan de implementación por etapas, iniciando con un piloto en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) y escalando progresivamente al resto del país tras evaluar la aceptación y ajustar los procesos.

4. **Definiciones**

Para evitar ambigüedades se presentan las siguientes definiciones clave:

4.1. **Foliado digital**: proceso mediante el cual las horas de vuelo registradas por un piloto se certifican electrónicamente. Cada hora recibe un número de folio único y se firma digitalmente, garantizando autenticidad e integridad. Sustituye al foliado en papel y sólo es válido si está homologado por la ANAC.

4.2. **ANAC (Administración Nacional de Aviación Civil)**: organismo estatal argentino encargado de regular la aviación civil, emitir licencias y habilitaciones y fiscalizar el cumplimiento de las normativas. En el contexto de *Horas al Mando*, actúa como autoridad certificadora del foliado digital.

4.3. **Aeroclub / Escuela de vuelo**: instituciones cuya misión es formar pilotos y promover la actividad aérea. Administran aeronaves, instructores, turnos de vuelo y servicios de apoyo académico.

4.4. **Trazabilidad**: capacidad de seguir el historial de un elemento –en este caso, horas de vuelo y documentos–, permitiendo verificar su origen, modificaciones y estado actual. Es un atributo esencial para la seguridad y la transparencia.

4.5. **Hora de vuelo**: unidad de tiempo que mide la experiencia de un piloto. Comprende desde el encendido hasta el apagado del motor, incluyendo rodaje y vuelo. La ANAC exige que se registre en fracciones décimas y que su cómputo sea avalado por un instructor.

4.6. **Licencia de piloto**: documento oficial emitido por la ANAC que autoriza a una persona a operar aeronaves. Existen licencias de piloto alumno, piloto privado y piloto comercial, cada una con requerimientos mínimos de horas de vuelo y exámenes aprobados.

4.7. **Libro de vuelo**: registro físico en el que los pilotos consignan cada hora que vuelan. Debe estar foliado y rubricado; la propuesta de *Horas al Mando* plantea su digitalización.

4.8. **Turnera**: sistema de gestión de turnos que permite programar vuelos y exámenes, asignar aeronaves e instructores y notificar a los usuarios. Facilita la organización de la disponibilidad y evita conflictos de programación.

4.9 **FAA (Federal Aviation Administration)**: es responsable por la seguridad y las regulaciones de aviación. Opera el sistema de control del tráfico en el espacio aéreo.

4.10 **EASA (European Aviation Safety Agency)**: es la encargada de garantizar la seguridad aérea en el espacio aéreo europeo, responsable de la inspección y supervisión de la seguridad del transporte aéreo y de sus sistemas, así como la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



homologación y certificación de productos aeronáuticos.
4.11 **NPA (Notices of Proposed Amendments)**: es la forma mediante la cual la EASA consulta acerca de posibles cambios en la regulación.
4.12 **IATA (International Air Transport Association)**: asociación comercial global de aerolíneas cuyo objetivo es promover un transporte aéreo seguro, eficiente y fiable estableciendo estándares técnicos, gestionando sistemas de distribución u ofreciendo capacitaciones.

5. **Fundamentación**
En el ámbito internacional, autoridades como FAA y EASA promueven los registros electrónicos. La FAA publicó la AC 120-78B (2024) que brinda orientación para firmas electrónicas y registros digitales en aviación, aplicando a todo documento exigido por la reglamentación de EE. UU. cuando esté en formato electrónico [03]. En forma similar, EASA ha elaborado guías para el mantenimiento sin papel: la NPA "Guidelines on electronic documents" (2023) señala que las normas europeas permiten usar documentos electrónicos siempre que ofrezcan las mismas garantías de trazabilidad e integridad que el papel [04].
Siguiendo con la misma línea, los marcos regulatorios actuales (IATA, FAA, EASA) ya contemplan mecanismos digitales: IATA documenta casos reales donde las aerolíneas sustituyen libros en papel por e-logbooks con firma digital [05].
Otros países han implementado libros de vuelo electrónicos. Por ejemplo, la Dirección de Aviación Civil de Uruguay (DINACIA) lanzó en 2023 el sistema LiVe (Libro de Vuelo Electrónico) el cual le permite a los pilotos uruguayos llevar un historial de vuelos ordenado y seguro, con reportes por períodos, gestión de riesgo operacional y facilidades para los resúmenes de vuelo.

Como se desprende de lo expuesto anteriormente, en los últimos años se ha observado una tendencia generalizada a reemplazar los trámites en formato papel por sistemas digitales, en línea con los procesos de modernización administrativa y transformación tecnológica que se están implementando a nivel global. Este cambio no sólo responde a la necesidad de optimizar tiempos y reducir errores humanos, sino también a la búsqueda de una mayor trazabilidad, transparencia y seguridad en la gestión de la información aeronáutica.
En este contexto, la digitalización de registros, certificaciones y comunicaciones entre los distintos actores del sector —pilotos, escuelas de vuelo, aeroclubes y autoridades regulatorias— permite establecer canales más eficientes y auditables, garantizando el cumplimiento de las normativas vigentes. Así, el tránsito hacia entornos digitales no constituye únicamente una mejora operativa, sino una evolución estructural en la manera en que se administran y validan los procesos dentro del ecosistema aeronáutico.

6. **Principales funcionalidades**
El valor diferencial de *Horas al Mando* radica en la integración de múltiples funcionalidades en un solo entorno. Entre las principales se destacan:

- **Registro y foliado digital de horas de vuelo**: los pilotos ingresan sus vuelos desde la web o la aplicación móvil; los instructores y la ANAC validan cada registro mediante firma electrónica, generando un folio único. Se incorporarán reglas para validar el tipo de vuelo (instrucción, travesía, navegación), el tipo de aeronave y las condiciones meteorológicas. Los pilotos podrán adjuntar documentos complementarios como plan de vuelo, bitácoras o fotografías del panel, y descargar certificados en PDF firmados electrónicamente.
- **Gestión documental con alertas automáticas**: la plataforma almacena licencias, certificados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



médicos, habilitaciones y documentos de aeronaves. Mediante notificaciones se advierte a los usuarios sobre vencimientos y renovaciones necesarias. Los usuarios podrán capturar documentos mediante fotografías; el sistema utilizará reconocimiento de texto (OCR) para extraer datos relevantes y sugerir acciones de renovación. Los administradores podrán generar reportes completos sobre el estado de la documentación de su personal y de las aeronaves.

- **Turnera y planificación de vuelos**: aeroclubes y escuelas organizan la disponibilidad de aeronaves e instructores; los pilotos reservan horarios y se evitan superposiciones. También se gestiona la programación de exámenes ante la ANAC. La turnera se integrará con calendarios externos como Google Calendar o Microsoft Outlook, permitiendo sincronización bidireccional. Se podrán reprogramar turnos y gestionar listas de espera, y el sistema asignará instructores automáticamente en función de su disponibilidad y habilitaciones.
- **Certificación de instructores y alumnos**: se verifica que los instructores tengan las licencias vigentes y que los alumnos cumplan los requisitos antes de programar sus vuelos. Este control reduce el riesgo de sanciones. Un módulo de control verificará que los instructores cumplan con las horas mínimas recientes y con los cursos de actualización obligatorios. También se registrarán las evaluaciones y retroalimentaciones de los alumnos para mejorar la calidad educativa.
- **Servicios de análisis y reportes**: se generan estadísticas de horas voladas, distribución de vuelos por tipo de aeronave, cumplimiento de programas de formación y otros indicadores útiles para la gestión académica y regulatoria. Los usuarios contarán con dashboards con indicadores clave como horas voladas por mes, distribución por tipo de entrenamiento, evolución de exámenes y nivel de cumplimiento de certificaciones. La ANAC dispondrá de paneles regulatorios para supervisar el estado general del sector.
- **Interfaz móvil y notificaciones**: la aplicación ofrece una experiencia adaptada a dispositivos móviles, con acceso offline a los últimos registros y notificaciones push para recordatorios de turnos, vencimientos y actualizaciones del sistema. La aplicación funcionará offline en zonas sin conectividad y sincronizará automáticamente cuando se recupere la conexión. Las notificaciones se podrán personalizar por tipo de evento, y se contemplará la incorporación de recordatorios geolocalizados.

## 7. **Documentación técnica**

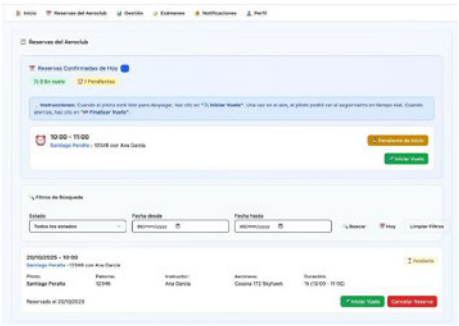
En el siguiente apartado se detallarán dos de los principales casos de uso, acompañados de sus correspondientes interfaces. Además, se incluirá un Diagrama de Entidad Relación para ayudar a la comprensión del proyecto.

### 7.1 **Asentar hora de vuelo**:

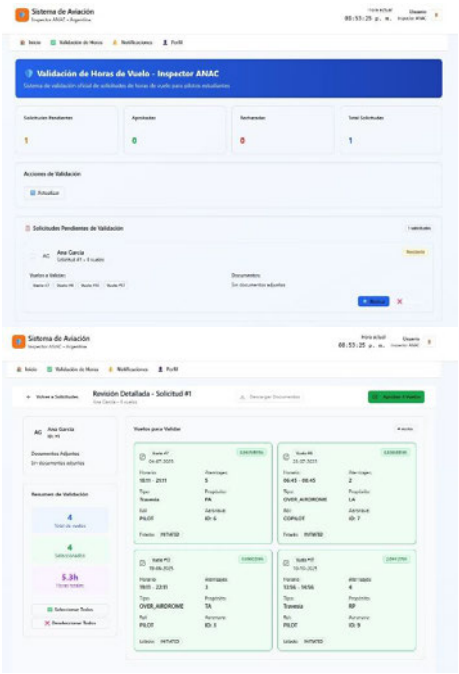
Proceso que sucede cuando un piloto realiza horas de vuelo como práctica y cómo se genera el asiento de las mismas de forma automática en el perfil del piloto. Dichas horas serán calculadas según el tiempo que haya transcurrido entre que se inició el vuelo y se finalizó.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

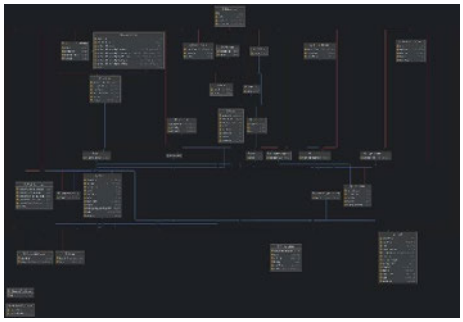




7.2 **Foliado de horas de vuelo**:
Es el proceso mediante el cual se verifica y se registra la actividad de vuelo realizada por el piloto en su libro de vuelo




7.3 **DER (Diagrama Entidad Relación)**:



8. **Tecnologías y aplicación de inteligencia artificial**

- **Lenguajes y frameworks**: el backend se desarrollará en Node.js, Python o Java [06] utilizando frameworks como Express y Spring Boot, mientras que el frontend utilizará React o Angular con TypeScript para lograr interfaces reactivas. Se adoptarán buenas prácticas de desarrollo seguro y patrones de diseño. Se considerará una arquitectura de microservicios para desplegar módulos de manera independiente, facilitando las actualizaciones y la escalabilidad. Las API RESTful o GraphQL servirán de interfaz de comunicación entre componentes y permitirán integraciones con servicios de terceros.
- **Bases de datos y servicios en la nube**: se emplearán bases de datos relacionales (PostgreSQL o MySQL) para la información estructurada y MongoDB para documentos y logs. La infraestructura se alojará en servicios PaaS como AWS Elastic Beanstalk, Google App Engine o Heroku [07], permitiendo escalar automáticamente. Para operaciones de análisis en tiempo real se evaluará el uso de servicios de streaming y almacenes de datos. La replicación y los respaldos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



automáticos asegurarán la continuidad del servicio.

- **Control de versiones y gestión de proyectos**: Git como repositorio de código y herramientas como GitHub o GitLab [08] para la colaboración y la integración continua. Se utilizarán tableros Kanban en Trello o Jira para organizar las tareas y las iteraciones. Se integrarán herramientas de revisión de código y análisis estático para identificar vulnerabilidades. Las tareas de infraestructura como código se gestionarán con herramientas como Terraform o Ansible.
- **Módulos de inteligencia artificial**: se explorará el uso de chatbots basados en procesamiento de lenguaje natural (NLP) para guiar a los usuarios en el registro de horas y responder preguntas frecuentes. Algoritmos de aprendizaje automático analizarán patrones de horas voladas y predecirán cuándo será necesario renovar un certificado; también se evaluará la detección de anomalías en los registros que puedan indicar errores o intentos de fraude. Los algoritmos se entrenarán con datos anonimizados, respetando las normas de protección de datos. Se creará un repositorio de modelos que permita actualizar y probar las versiones de inteligencia artificial de manera controlada.
- **Seguridad y cifrado**: la autenticación se implementará mediante tokens JWT y, cuando corresponda, autenticación multifactor. La información sensible se cifrará con estándares AES y las comunicaciones se protegerán con TLS. Se cumplirán normativas de protección de datos personales y se realizará un monitoreo continuo de vulnerabilidades. Se implementarán pruebas de penetración periódicas y se establecerá un programa de divulgación responsable de vulnerabilidades para incentivar la colaboración de la comunidad en la mejora de la seguridad.

9. **Herramientas utilizadas y arquitectura**

- **Entorno de desarrollo**: se emplearán lenguajes de programación modernos (Java, JavaScript, Python) y frameworks como Spring Boot y React. Estas herramientas facilitan la construcción de aplicaciones escalables y el mantenimiento de un código limpio. Para la gestión de requisitos se utilizarán historias de usuario y criterios de aceptación en Jira; se definirán pruebas automatizadas con frameworks como Jest para el frontend y JUnit o Pytest para el backend.
- **Bases de datos**: se utilizarán PostgreSQL o MySQL [09] para almacenar datos relacionales y MongoDB para documentos y archivos adjuntos, permitiendo flexibilidad y consistencia. Para operaciones de monitoreo y análisis se podrán integrar soluciones de series temporales como InfluxDB y herramientas de procesamiento masivo.
- **Servicios en la nube y despliegue**: la plataforma se alojará en proveedores de nube que ofrezcan alta disponibilidad y escalabilidad. Se explorará la utilización de contenedores (Docker) y orquestadores (Kubernetes) para facilitar el despliegue y la administración. Se diseñará una arquitectura de monitorización con Prometheus y Grafana para medir el rendimiento y detectar incidentes. El uso de contenedores facilitará la portabilidad entre diferentes proveedores.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Gestión de versiones y CI/CD**: Git será el sistema de control de versiones; se configurarán pipelines de integración continua para automatizar pruebas y despliegues. Herramientas como Jenkins, GitHub Actions o GitLab CI garantizarán la calidad del código. Se establecerá una estrategia de ramas basada en GitFlow; los pipelines ejecutarán pruebas unitarias, de integración y de seguridad, y desplegarán automáticamente a entornos de *staging* y producción.
- **Metodología de gestión de proyectos**: se adoptará una metodología iterativa-incremental, con sprints de desarrollo y retrospectivas periódicas. Se basará en las mejores prácticas del Project Management Institute (PMI) adaptadas al contexto académico. La documentación del proyecto se mantendrá viva utilizando wikis y herramientas de documentación automática. Se realizarán retrospectivas regulares para mejorar el proceso de desarrollo.
- **Arquitectura en capas**: la solución se organizará en una capa de presentación (interfaces web y móviles), una capa de lógica de negocio (reglas de foliado y gestión documental), una capa de acceso a datos y una capa de integración con servicios externos como la ANAC y sistemas de notificaciones. Esta separación mejora el mantenimiento y la escalabilidad. Un *gateway* de API centralizará el acceso a los microservicios y aplicará políticas de autenticación y control de flujo. La arquitectura se documentará con diagramas de arquitectura (C4) y se revisará periódicamente para adaptarse a nuevas necesidades.

10. **Plan a alto nivel**
La implementación se estructurará en fases sucesivas, cada una con objetivos y entregables concretos:
10.1. **Análisis y diseño (meses 1–3)**: recopilar requisitos funcionales y no funcionales, elaborar diagramas de procesos y casos de uso, definir la arquitectura tecnológica y diseñar la experiencia de usuario (UX). Durante esta fase se coordinarán reuniones con la ANAC y se validarán las hipótesis de negocio. Se elaborará un plan de proyecto detallado con cronograma y presupuesto, se diseñarán wireframes de las interfaces y se definirá un esquema de gobernanza y gestión de riesgos.
10.2. **Desarrollo inicial (meses 4–6)**: construir el núcleo de la plataforma: el módulo de registro de horas de vuelo, la base del foliado digital y la funcionalidad básica de la turnera. Implementar los modelos de datos, el sistema de autenticación y los servicios de notificaciones. En esta etapa se desarrollarán prototipos funcionales y se definirán las APIs internas y externas; también se iniciará la configuración de las pruebas automatizadas y la estructuración de la base de datos.
10.3. **Pruebas y piloto (meses 7–9)**: realizar pruebas unitarias e integrales, asegurar la seguridad y la usabilidad del sistema. Desplegar una versión beta en aeroclubes seleccionados del AMBA y recopilar retroalimentación de pilotos e instructores para ajustar la interfaz y los procesos. Se elaborarán manuales de usuario y programas de capacitación para los participantes del piloto. Se recogerán métricas de satisfacción y desempeño para guiar las mejoras.
10.4. **Expansión y mejoras (meses 10–12)**: agregar funciones avanzadas como la gestión documental completa, la integración con la ANAC para certificaciones oficiales, la analítica de datos y el chatbot. Escalar la infraestructura para soportar un mayor número de usuarios y preparar el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



lanzamiento a nivel nacional. Se integrarán métodos de pago en línea y se optimizará el rendimiento del sistema. Se implementarán mecanismos de recuperación ante desastres y redundancia para asegurar la continuidad operativa.
10.5. **Lanzamiento y marketing (meses 13–15)**: implementar la estrategia de difusión, firmar acuerdos con aeroclubes y escuelas de vuelo, capacitar a los instructores y pilotos e iniciar campañas en redes y eventos de aviación. Monitorizar indicadores clave de rendimiento y ajustar las estrategias comerciales. Se diseñarán campañas en redes sociales, se coordinarán eventos de presentación en aeroclubes y se ofrecerán promociones para usuarios tempranos. Se establecerá un plan de soporte y retroalimentación temprana.
10.6. **Post-lanzamiento y mantenimiento (meses 16–18)**: establecer un equipo de soporte que atienda consultas y gestione incidencias, recopilar sugerencias de mejora y planificar actualizaciones iterativas. Se evaluará la inclusión de nuevas funcionalidades basadas en la retroalimentación de los usuarios y en la evolución tecnológica.

## 11. Discusión

La propuesta de *Horas al Mando* presenta varias dimensiones que requieren análisis crítico:

- **a. Originalidad y valor diferencial**: la integración de foliado digital, gestión documental y programación de turnos en una sola plataforma constituye una propuesta pionera en la aviación civil argentina. Este enfoque evita la fragmentación de procesos y ofrece una solución integral adaptada al marco normativo local. La ventaja competitiva se basa en ser la primera en ofrecer una solución completa, lo que permite captar tempranamente a los usuarios y liderar el camino en la transformación digital del sector.
- **b. Seguridad de la información**: la plataforma gestionará datos personales y licencias, por lo que la protección de la privacidad es indispensable. Se requieren mecanismos robustos de cifrado, autenticación y auditoría. La confianza de los usuarios dependerá de la transparencia de las políticas y de la respuesta ante incidentes de seguridad. El cumplimiento de leyes de protección de datos y la realización de pruebas de penetración periódicas son fundamentales para mitigar los riesgos de ciberataques.
- **c. Usabilidad y accesibilidad**: para que la digitalización sea adoptada, la interfaz debe ser intuitiva y accesible en distintos dispositivos y condiciones. Se contemplarán guías paso a paso, tutoriales interactivos y una experiencia homogénea en web y móvil. También se considerará la accesibilidad para personas con discapacidades, siguiendo estándares internacionales. La simplicidad del diseño reducirá la curva de aprendizaje y facilitará la adopción por usuarios de diferentes edades y niveles de experiencia tecnológica.
- **d. Regulaciones y relación con la ANAC**: la homologación de la plataforma por parte de la ANAC es un factor crítico. Se requiere una colaboración estrecha para validar los procesos, adaptar el software a los requerimientos normativos y asegurar el reconocimiento legal de los registros digitales. La plataforma deberá adaptarse rápidamente a cambios normativos y participar en espacios de consulta pública para anticipar modificaciones legislativas.
- **e. Escalabilidad y sostenibilidad**: el crecimiento del número de usuarios exigirá una infraestructura elástica capaz de soportar picos de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



demanda y asegurar tiempos de respuesta bajos. A largo plazo, la sostenibilidad del proyecto dependerá de mantener un equilibrio entre la innovación continua y los ingresos generados por servicios premium y alianzas. Se analizará la eficiencia energética de la infraestructura y se considerará el uso de tecnologías verdes para reducir la huella ambiental.

- **f. Impacto socioeconómico**: la digitalización del registro de horas y la automatización de trámites reducirá los tiempos administrativos y los costos operativos tanto para pilotos como para instituciones. La plataforma generará nuevas oportunidades laborales en desarrollo, soporte y capacitación y fomentará una cultura de transparencia que podría replicarse en otros sectores.
- **g. Sostenibilidad ambiental**: al reducir el uso de papel y los desplazamientos para trámites presenciales, la plataforma contribuirá a disminuir la huella de carbono de la aviación general. La adopción de tecnologías eficientes y la minimización de la infraestructura física reforzarán el compromiso ambiental del proyecto.

## 12. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

*Horas al Mando* surge como una respuesta integral a la necesidad de modernizar la aviación civil argentina. Su propuesta de digitalizar el registro de horas, automatizar el foliado y centralizar la gestión documental promete reducir errores, agilizar trámites y mejorar la transparencia. De cara al futuro, se identifican varias líneas de trabajo que enriquecerán la plataforma:

- **a. Integración de inteligencia artificial avanzada**: ampliar los módulos de IA para ofrecer asistencia personalizada a los pilotos, detectar patrones de desempeño y recomendar planes de formación. Explorar algoritmos de machine learning para predecir la demanda de vuelos y optimizar la asignación de aeronaves.
- **b. Desarrollo de aplicaciones móviles nativas**: construir aplicaciones específicas para iOS y Android que funcionen offline y aprovechen las capacidades de los dispositivos (geolocalización, notificaciones, biometría), complementando la versión web.
- **c. Exploración de tecnologías blockchain**: investigar la posibilidad de almacenar los folios de horas de vuelo en cadenas de bloques para garantizar su inmutabilidad y facilitar la verificación descentralizada por parte de terceros interesados (aerolíneas, aseguradoras, entidades educativas).
- **d. Internacionalización y homologación cruzada**: adaptar la plataforma para que los registros de horas y licencias sean reconocidos por autoridades de otros países, facilitando la movilidad laboral de los pilotos argentinos y la integración con normativas internacionales.
- **e. Programas de capacitación y cambio cultural**: acompañar la implementación con campañas de sensibilización y formación para pilotos e instructores, que destaquen los beneficios de la digitalización y reduzcan la resistencia al cambio. Incluir módulos de aprendizaje digital en las currículas de las escuelas de vuelo.
- **f. Ciberseguridad y resiliencia**: desarrollar planes de continuidad de negocio y estrategias de resiliencia ante ciberataques.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Incluir evaluaciones constantes de vulnerabilidades y simulacros de respuesta a incidentes para fortalecer la preparación del equipo y la confianza de los usuarios.

- **g. Apertura de APIs y ecosistema de terceros**: diseñar interfaces de programación (API) abiertas que permitan a desarrolladores externos integrar la plataforma con otras aplicaciones y servicios. Fomentar un ecosistema de soluciones complementarias impulsará la innovación y aumentará el valor ofrecido a los usuarios.

13. **Referencias**

[01] Administración Nacional de Aviación Civil. **Datos abiertos: licencias de pilotos**. Disponible en línea (consultado en 2025).
[02] Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). *Reglamento de licencias del personal aeronáutico*. Buenos Aires, 2024.
[03] Orientación en la firma electrónica: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-78B_FAA_Web.pdf
[04] Guía para el mantenimiento sin papel: https://www.easa.europa.eu/en/faq/137907
[05]https://www.iata.org/contentassets/fafa409c883d41198aeb87628c848851/adopting-ac-electronic-records-1st-ed-2024.pdf
[06] Lenguaje JAVA: https://www.3digits.es/blog/Ventajas-lenguaje-JAVA.html
[07] ¿Qué es Heroku?: https://videlcloud.wordpress.com/2018/12/22/que-es-heroku-para-que-sirve-ventajas-y-desventajas/
[08] ¿Qué es GitHub? https://www.hostinger.com.ar/tutoriales/que-es-github
[09] Postgres vs MySQL https://blog.mdcloud.es/postgresql-vs-mysql-cual-usar-para-mi-proyecto/

14. **Datos de contacto**

*Carretto, Julian. Universidad Tecnológica Nacional. jcarretto@frba.utn.edu.ar.*
*Arrascaeta, Santiago. Universidad Tecnológica Nacional. sarrascaeta@frba.utn.edu.ar.*
*Gomez Berruezo, Tomas. Universidad Tecnológica Nacional. tgomezberruezo@frba.utn.edu.ar.*
*Nani, Felipe. Universidad Tecnológica Nacional. fnani@frba.utn.edu.ar.*
*Lamanna, Lucas. Universidad Tecnológica Nacional. llamanna@frba.utn.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema de gestión y localización en centros de evacuación A-Salvo

**Burza, Nicolás; De Cesare, Agustín; Gruschka, Karen; Nuñez Bevilacqua, Guido; Ruiz Schulze, Victoria**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*En situaciones de catástrofe, como inundaciones, incendios o terremotos, los centros de evacuación enfrentan el desafío de registrar, asistir y reunir a miles de personas en condiciones críticas. Este trabajo presenta un sistema integral de gestión y trazabilidad de personas evacuadas, diseñado para mejorar la respuesta, coordinación y asistencia humanitaria en centros temporales. La solución incluye una plataforma digital para registrar a cada evacuado, geolocalizar su posición, priorizar su atención sanitaria, facilitar la reunificación familiar y coordinar recursos entre centros. Además, se incorpora un modelo de autogestión mediante códigos QR y dispositivos móviles, junto con un módulo de feedback post-emergencia. El sistema aporta trazabilidad, eficiencia y humanidad en la gestión de emergencias, contribuyendo a reducir el caos y optimizar la toma de decisiones en momentos donde cada minuto resulta crítico.*

**Palabras Clave**
Gestión de emergencias; Evacuación; Sistemas de información; Geolocalización; Trazabilidad; A-Salvo; Computación en la nube; Reunificación familiar; Resiliencia climática.

## Introducción

El cambio climático ha intensificado en las últimas décadas la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos, afectando tanto la frecuencia como la severidad de eventos como inundaciones, incendios, olas de calor y tormentas. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) advierte que América Latina y el Caribe se encuentran entre las regiones más vulnerables, con impactos cada vez más visibles en las infraestructuras críticas, los ecosistemas y la población [1]. La Organización Meteorológica Mundial, en su último informe regional, confirma que 2024 fue uno de los años más cálidos registrados en la región, acompañado por anomalías en las precipitaciones, sequías prolongadas e inundaciones de gran magnitud, que ocasionaron pérdidas humanas, desplazamientos forzados y daños económicos significativos [2][3]. Además, según un reporte de la CEPAL, entre 2000 y 2023 la cantidad de desastres reportados en América Latina casi se duplicó respecto de las dos décadas anteriores, lo que refleja la creciente exposición de la población a estos fenómenos.

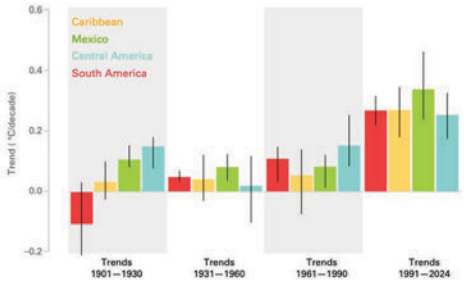



*Figura 1. Tendencias de temperatura para las subregiones del Caribe, México, América Central y América del Sur. [2]*

En Argentina, el Servicio Meteorológico Nacional documentó durante 2024 episodios de sequía en la región pampeana, incendios en el Litoral y nevadas extremas en la Patagonia, evidenciando una marcada intensificación de los extremos climáticos [4].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



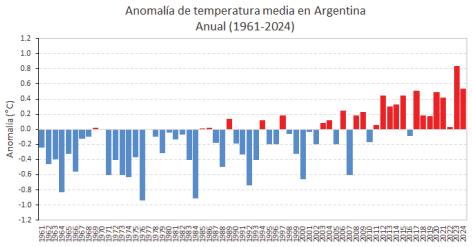



*Figura 2. Anomalía de temperatura media en Argentina Anual (1961-2024). [4]*

A nivel urbano, la falta de infraestructura resiliente amplifica los daños. El reciente caso de las lluvias torrenciales en Bahía Blanca (marzo de 2025) puso de manifiesto esta vulnerabilidad: 16 personas fallecidas, más de 1.400 desplazados y pérdidas económicas estimadas en 400 millones de dólares [5]. Este evento no fue aislado, sino un ejemplo de la creciente exposición de las ciudades argentinas a fenómenos extremos, agravada por déficits estructurales en obras hidráulicas, drenajes pluviales y planificación territorial.

Diversos organismos nacionales e internacionales coinciden en señalar la insuficiencia de la inversión en infraestructura de prevención. El Banco Mundial estima que Argentina pierde en promedio 1.000 millones de dólares anuales debido a inundaciones, y que este valor podría aumentar en más de 100% hacia mediados de siglo de no adoptarse medidas de adaptación [6]. A nivel nacional, el Ministerio de Obras Públicas ha identificado brechas en materia de agua y saneamiento que comprometen la capacidad de respuesta ante emergencias [7], mientras que la OCDE recomienda fortalecer la gobernanza del agua para enfrentar los crecientes desafíos climáticos [8]. En paralelo, la Auditoría General de la Nación ha señalado debilidades en la implementación del Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR), lo que refleja la necesidad de mejorar tanto la infraestructura como los sistemas de información y coordinación inter-institucional [9].

Este escenario resalta que, además de las inversiones físicas en obra pública, se requieren soluciones tecnológicas que permitan ordenar el caos en situaciones de emergencia, optimizando la capacidad de respuesta de los equipos de rescate, las autoridades y las organizaciones humanitarias. En particular, la gestión de personas evacuadas constituye un punto crítico: miles de individuos deben ser registrados, asistidos y en muchos casos reunificados con sus familias en un contexto de desorganización, ansiedad y recursos limitados. La ausencia de sistemas integrales con capacidad de trazabilidad individual y familiar genera riesgos adicionales, dificulta la priorización de casos médicos urgentes y limita la eficiencia en la distribución de recursos.

En este contexto, surge el proyecto que aquí se presenta: A-Salvo, un sistema integral de gestión y localización de personas evacuadas, desarrollado en colaboración con el Laboratorio de Investigaciones en Neurociencias e Inteligencia Artificial de la Facultad del Ejército (LINIAFE). La iniciativa se originó a partir de la propuesta de distribuir mochilas de emergencia flotantes con tecnología QR y se expandió hacia el diseño de una plataforma digital que centraliza información crítica en situaciones de catástrofe.

De esta manera, el objetivo del proyecto es brindar una herramienta tecnológica que complemente la infraestructura física y fortalezca la capacidad de gestión en situaciones críticas, contribuyendo a reducir la vulnerabilidad social y mejorar la resiliencia comunitaria frente a catástrofes cada vez más frecuentes e intensas.

**Elementos del trabajo de investigación y metodología**.
El equipo de investigación está conformado por cinco integrantes. Cada integrante desempeña uno o más roles específicos en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



el proyecto. A continuación se mencionan los roles asignados a cada miembro:

- Project Manager (PM)
- Analista Funcional (AF)
- Desarrollador Web Backend (DB)
- Desarrollador Web Frontend (DF)
- Tester (T)

Cada uno de estos roles desempeña sus responsabilidades específicas y trabaja en colaboración con el resto del equipo.
En este trabajo se presentan de manera detallada los requerimientos identificados para la solución propuesta. Se describe la resolución de las funcionalidades principales que permiten alcanzar los objetivos del proyecto. Además, se exponen las características relevantes de la solución y aspectos y decisiones sobre el despliegue y arquitectura.

**1. Definición de los requerimientos.**
El diseño de A-Salvo se centra en garantizar la trazabilidad, seguridad y asistencia de las personas evacuadas, priorizando aquellas funcionalidades críticas que permiten la gestión integral en escenarios de catástrofe. Dada la amplitud de requerimientos identificados, en este trabajo se presentan los más relevantes, clasificados según el rol del usuario.

- Usuarios evacuados:

Los evacuados constituyen el núcleo del sistema, por lo que los requerimientos principales se enfocan en el registro individual y familiar (RF-1, RF-3), la posibilidad de informar condiciones médicas relevantes (RF-6) y el check-in en centros de evacuación mediante QR (RF-9), que facilita la geolocalización y el envío automático de notificaciones a familiares (RF-10, RF-11). Asimismo, la emisión de un certificado digital de evacuación (RF-12) se considera esencial para formalizar la situación de los afectados ante autoridades y empleadores.

- Administradores de centros de evacuación:

Para este perfil, destacan la capacidad de registrar y gestionar manualmente a los evacuados (RF-15), realizar un cuestionario médico inicial (RF-16), y controlar la capacidad y disponibilidad del centro (RF-18). A esto se suma la visualización de dashboards demográficos y las sugerencias automáticas de reunificación familiar (RF-20), que optimizan la asignación de recursos y la atención humanitaria.

- Administradores del evento catastrófico:

A nivel macro, resulta crítico que el sistema permita emitir alertas oficiales de evacuación en zonas específicas (RF-23) y visualizar información consolidada mediante dashboards (RF-26), lo cual fortalece la coordinación entre centros y la toma de decisiones en tiempo real. La generación de reportes post-evento (RF-27) constituye un insumo clave para la mejora continua y la planificación de políticas de gestión de riesgo.

- Administradores del sistema:

Finalmente, para garantizar la escalabilidad y mantenimiento de la plataforma, los administradores del sistema deben poder crear y actualizar centros de evacuación (RF-28) y gestionar usuarios, roles y permisos (RF-29), asegurando la consistencia y seguridad en el acceso a la información.

En síntesis, los requerimientos priorizados buscan cubrir el ciclo completo de la experiencia de los evacuados, desde su ingreso al sistema hasta su reunificación y eventual certificación, al mismo tiempo que fortalecen la capacidad de gestión de los distintos niveles de administración.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



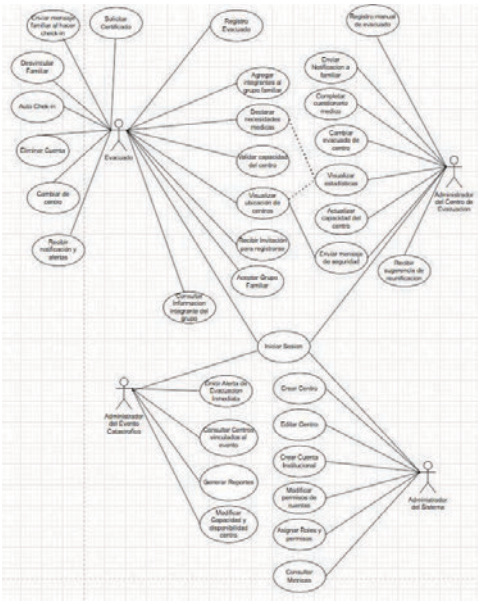


*Figura 3. Casos de uso de la solución software.*

**2. Despliegue de la solución.**

La arquitectura propuesta fue diseñada con el objetivo de garantizar requisitos no funcionales claves como alta disponibilidad, seguridad y escalabilidad. Para ello, se adopta una infraestructura desplegada en Amazon Web Services (AWS), aprovechando el uso de múltiples zonas de disponibilidad (AZs).

El frontend se aloja en Amazon S3, complementado con CloudFront como red de distribución de contenido (CDN). Esta configuración permite la entrega global de contenido estático con baja latencia y redundancia automática. En el caso de la API REST, se implementa un Elastic Load Balancer (ELB) que distribuye el tráfico entre instancias EC2 desplegadas en diferentes AZs, lo que asegura la continuidad del servicio incluso ante la falla de un nodo o zona completa. Por su parte, la base de datos se gestiona mediante Amazon RDS para PostgreSQL, configurada en modo Multi-AZ, lo que habilita replicación automática y conmutación por error transparente.

En materia de seguridad, la solución contempla múltiples capas de protección. Los datos en S3 y CloudFront son cifrados en reposo (mediante SSE) y en tránsito (HTTPS). Las instancias EC2 se alojan en una VPC privada, protegidas por grupos de seguridad que limitan el tráfico únicamente a lo estrictamente necesario. Asimismo, Amazon RDS implementa cifrado en reposo mediante AWS KMS y control de accesos a través de IAM y grupos de seguridad.

La escalabilidad dinámica se logra mediante el uso de Auto Scaling Groups (ASG), que ajustan automáticamente la cantidad de instancias de la API REST en función de métricas como CPU, memoria o volumen de tráfico. Esto permite absorber picos de carga sin necesidad de intervención manual. El ELB integra las nuevas instancias en el balanceo sin interrupciones, mientras que el frontend (S3 y CloudFront) escala de forma automática. En el caso de RDS, se admite escalado vertical y el uso de Read Replicas para cargas intensivas de lectura.

La arquitectura general del sistema se presenta en la Figura 2, donde se ilustran los principales componentes y su interacción dentro del entorno en la nube.

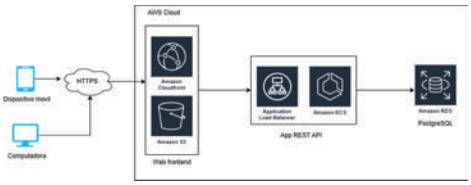



*Figura 4. Diagrama de arquitectura de la solución.*

**3. Patrones de diseño aplicados en la solución.**

La solución adopta un patrón de cliente liviano, donde el cliente (navegador web) se limita a la presentación, delegando la lógica de negocio, el procesamiento y el acceso a datos al servidor. Este enfoque ofrece ventajas en términos de centralización del control, simplificación del mantenimiento y refuerzo de la seguridad, dado que los datos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sensibles y los procesos de autenticación se gestionan en el backend. Además, la ligereza del cliente facilita la compatibilidad con un mayor rango de dispositivos, reduciendo la barrera de entrada.

La API REST implementa un modelo clásico de arquitectura en tres capas:

- **Capa de presentación o controlador,** que expone los endpoints REST, recibe solicitudes, valida parámetros y delega la lógica al servicio.
- **Capa de lógica de negocio o servicio**, encargada de implementar las reglas de negocio, validaciones complejas, cálculos y coordinación entre fuentes de datos.
- **Capa de acceso a datos**, que interactúa directamente con PostgreSQL, ejecuta consultas y transforma entidades en objetos de dominio.

Esta separación en capas fomenta la modularidad, mantenibilidad y capacidad de prueba, además de facilitar la evolución del sistema sin comprometer su estabilidad. De esta manera, la arquitectura propuesta no solo responde a las necesidades funcionales de la aplicación, sino que también asegura la robustez, escalabilidad y resiliencia exigidas en un contexto de gestión de emergencias.

**Trabajos Relacionados**

Existen aplicaciones que permiten el seguimiento de grupos familiares, como Life360, sin embargo, estas soluciones están orientadas al uso cotidiano y no a contextos de catástrofe. A nivel internacional, se han desarrollado sistemas de gestión de emergencias que permiten coordinar recursos, pero carecen de un enfoque centrado en la trazabilidad individual y la revinculación familiar. La propuesta presentada se diferencia por integrar hardware y software, incorporar un modelo de autogestión por parte de los evacuados y priorizar la dimensión humana de la emergencia.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Los desastres recientes y la evidencia acumulada a escala regional y global reafirman que el riesgo climático y socioambiental se ha intensificado en frecuencia, severidad e impactos humanos y económicos [1][2]. En Argentina, la conjunción de eventos extremos y déficits de infraestructura crítica expone a comunidades enteras a vulnerabilidades evitables, como lo mostró el episodio de Bahía Blanca en marzo de 2025 [5]. Este panorama exige respuestas que complementen la obra pública con capacidades digitales para ordenar la atención, coordinar recursos y sostener la trazabilidad de personas en contextos altamente dinámicos y estresantes [6][7][8][9].

En este trabajo presentamos A-Salvo, una solución integral orientada a cerrar brechas operativas clave en centros de evacuación: registro y trazabilidad individual/familiar, priorización sanitaria, reunificación familiar y coordinación inter-centros en tiempo real. La propuesta articula un modelo de autogestión con QR y dispositivos móviles con una plataforma de gestión para autoridades, personal de salud y equipos logísticos. Desde el punto de vista arquitectónico, mostramos que es posible satisfacer requisitos no funcionales críticos —alta disponibilidad, seguridad y escalabilidad— mediante una infraestructura en la nube con despliegue multi-AZ, balanceo de carga, base de datos tolerante a fallos y cifrado de extremo a extremo. Asimismo, priorizamos un cliente liviano y una API en tres capas, favoreciendo mantenibilidad, modularidad y control de acceso.

Más allá del diseño tecnológico, el aporte principal de A-Salvo es socio-técnico: introduce mecanismos verificables de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



identidad y vinculación familiar, reduce tiempos de registro y minimiza la pérdida de información en tránsito; habilita tableros de situación para decisiones tácticas y estratégicas; y genera evidencia post-evento para aprendizaje institucional y mejora continua. En escenarios donde cada minuto es crítico, la posibilidad de trazar a cada persona y priorizar según criterios clínicos y de vulnerabilidad incide directamente en la eficiencia de la asistencia y, potencialmente, en la reducción de daños y víctimas [1][2][5].

En términos de política pública, A-Salvo se alinea con lineamientos internacionales de resiliencia y gestión del riesgo (IPCC/WMO) y puede potenciar la efectividad de inversiones físicas al proveer capas de información y control operativo que hoy faltan o se encuentran fragmentadas [1][2][8][9]. Su adopción puede contribuir a gobernanza del agua y del riesgo más transparente y basada en datos, y a mejor rendición de cuentas sobre la asignación de recursos durante emergencias [6][8][9]. En el contexto argentino, donde persisten brechas de inversión en obras de mitigación y saneamiento [7][8], disponer de una herramienta digital de rápida implementación y costo incremental acotado representa un acelerador para la preparación y respuesta.

No obstante, reconocemos limitaciones y riesgos. (i) Conectividad: desastres suelen degradar redes; por ello se requiere fortalecer modos offline-first, sincronización diferida y canales de contingencia (SMS/USSD, radio). (ii) Privacidad y ética: el manejo de datos sensibles exige cumplimiento estricto de marcos normativos, minimización de datos, cifrado robusto, gobernanza de accesos y auditoría independiente. (iii) Identidad y fraude: la verificación debe contemplar múltiples factores (documento, biometría de baja fricción y validaciones por staff) evitando exclusión de personas sin credenciales. (iv) Accesibilidad y usabilidad: la interfaz para población diversa (niños, adultos mayores, personas con discapacidad o sin smartphone) demanda diseño inclusivo, soportes físicos (pulseras/credenciales QR/NFC) y asistencia presencial. (v) Interoperabilidad: integrar A-Salvo con sistemas existentes (alertamiento, salud, protección civil) requiere estándares abiertos (p. ej., CAP para alertas) y acuerdos interinstitucionales. (vi) Capacitación y simulacros: la eficacia real depende de entrenamiento continuo y ejercicios con municipios, defensa civil, salud y organizaciones humanitarias.

A partir de estas consideraciones, delineamos una agenda de trabajos futuros:

1. Resiliencia de comunicaciones: PWA con modo offline, sincronización conflict-aware y rutas alternativas (SMS/USSD); exploración de redes de área amplia de baja potencia (p. ej., LoRaWAN) y enlaces satelitales para centros de evacuación.
2. Kit de identificación física: credenciales QR/NFC resistentes, impresoras portátiles y protocolos de re-asignación segura para familias y menores no acompañados.
3. Algoritmos de priorización y reunificación: modelos de matching familiar y triage asistido (explicables, auditables), con umbrales configurables por autoridad sanitaria.
4. Seguridad y privacidad por diseño: hardening criptográfico end-to-end, pseudonimización, registros inmutables de auditoría y evaluación formal de impacto en protección de datos.
5. Interoperabilidad: adopción de estándares (CAP/EDXL, FHIR para salud) y conectores hacia plataformas nacionales y provinciales; API pública con políticas de acceso granulares.
6. Evaluación en campo: pilotos con municipios y jurisdicciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



representativas; métricas de proceso y resultado (tiempo medio de registro por persona, tiempo a reunificación, throughput de triage, tasa de datos completos, disponibilidad efectiva del sistema, satisfacción de usuarios).

7. Gobernanza y escalamiento: manuales operativos, acuerdos de nivel de servicio (SLA), esquemas de roles y permisos multi-agencia, y lineamientos de rendición de cuentas y transparencia de datos.
8. Estrategia de inclusión: flujos "sin smartphone", multilingüe, lectura fácil y soporte para accesibilidad (WCAG), con indicadores de no-discriminación y cobertura efectiva en grupos vulnerables.

En síntesis, A-Salvo se posiciona como una pieza faltante en el ecosistema de gestión de emergencias: no sustituye la obra pública ni la planificación territorial, pero amplifica sus beneficios al ordenar la información crítica y coordinar acciones a escala humana y en tiempo real. En un contexto donde las tendencias climáticas y demográficas proyectan mayor presión sobre los sistemas de respuesta [1][2][3][4], avanzar en soluciones interoperables, éticas y centradas en las personas es tan urgente como ineludible. Con las extensiones propuestas —técnicas, organizacionales y normativas—, A-Salvo puede evolucionar desde un prototipo robusto hacia una capacidad institucional sostenible, contribuyendo a salvar vidas, reducir daños y mejorar la resiliencia de nuestras comunidades frente a emergencias presentes y futuras.

**Agradecimientos**

Se agradece al Laboratorio de Investigaciones en Neurociencias e Inteligencia Artificial de la Facultad del Ejército (LINIAFE) por identificar la necesidad que dio origen a este proyecto. Asimismo, expresamos nuestro reconocimiento a los docentes Ing. Mariano Bucher y Prof. Mg. Roberto Eribe de la cátedra Proyecto Final, por su guía, colaboración y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. Su acompañamiento y motivación fueron fundamentales para la concreción de la propuesta.

**Referencias**

*[1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press. Disponible en: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2*

*[2] World Meteorological Organization (WMO). (2025). State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2024. WMO. Disponible en: https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-climate*

*[3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2025). Eventos extremos en América Latina y el Caribe 2024. CEPAL. Disponible en: https://www.cepal.org/es/publicaciones*

*[4] Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2025). El clima en Argentina 2024: reporte final. SMN. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-clima-en-argentina-2024-reporte-final*

*[5] El País. (2025, 7 de marzo). Lluvias torrenciales en Bahía Blanca dejan 16 muertos y 1.400 desplazados. Disponible en: https://elpais.com/argentina/2025-03-07/lluvias-torrenciales-en-bahia-blanca-dejan-16-muertos-y-1400-desplazados.html*

*[6] Banco Mundial. (2021). Argentina pierde en promedio 1.000 millones de dólares al año por inundaciones. World Bank. Disponible en: https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2021/02/18/argentina-flood-damages*

*[7] Ministerio de Obras Públicas (Argentina). (2023). Brechas de inversión en infraestructura en Argentina. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas*

*[8] OECD. (2020). Gobernanza del Agua en Argentina. OECD Publishing. Disponible en: https://doi.org/10.1787/8f148d6f-es*

*[9] Auditoría General de la Nación (AGN). (2024). Informe de auditoría sobre el Sistema Nacional de Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR). AGN. Disponible en: https://www.agn.gov.ar/informe*

**Datos de Contacto**

*Nicolás Burza - nburza@frba.utn.edu.ar*
*Agustín De Cesare · adecesare@frba.utn.edu.ar*
*Karen Gruschka · kgruschka@frba.utn.edu.ar*
*Guido F. Nuñez Bevilacqua · nubevi@frba.utn.edu.ar*
*Victoria Ruiz Schulze · vruizschulze@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# KiuApp: Sistema de Gestión Integral para Eventos Masivos

**Bacin Rauber, Janaina; Galdeano, Huilen Verena; López García, Virginia; Peruzzi, Agustín Luis; Neri, Juan Pablo**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza***

**Resumen**

*El presente artículo tiene como propósito exponer el diseño, desarrollo e implementación de KiuApp, un sistema informático compuesto por una web app mobile y un backoffice web diseñado para optimizar la gestión de pedidos y la experiencia de los asistentes en eventos masivos. La motivación principal es la necesidad de modernizar y digitalizar los procesos manuales que generan demoras y una experiencia subóptima para los usuarios. Se utilizó la metodología de trabajo SCRUM con el apoyo de la plataforma Plane, el lenguaje TypeScript, la base de datos MySQL, el framework Express sobre Node.js y la librería React. Se realizó un análisis de factibilidad y riesgos. Los beneficios de la solución incluyen la reducción de los tiempos de espera, la mejora de la eficiencia operativa en los puestos de venta, y la obtención de métricas y datos valiosos para la toma de decisiones por parte de los organizadores. KiuApp se presenta como una aplicación web integral que aborda diversas problemáticas y facilita las funcionalidades necesarias para una gestión de eventos masivos más eficaz y fluida.*

**Abstract**

*This article aims to present the design, development, and implementation of KiuApp, a computer system consisting of a mobile app and a web back office designed to optimize order management and attendee experience in large-scale events. The main motivation is the need to modernize and digitize manual processes that cause delays and result in a suboptimal user experience. The SCRUM methodology was employed with the support of the Plane platform, using TypeScript as the programming language, MySQL as the database, the Express framework on Node.js, and the React library. A feasibility and risk analysis was conducted. The benefits of the solution include reduced waiting times, improved operational efficiency at points of sale, and the collection of valuable metrics and data for decision-making by event organizers. KiuApp is presented as a comprehensive web application that addresses various challenges and provides the necessary functionalities for more effective and seamless large-scale event management.*

**Palabras Claves**

Gestión de eventos, pedidos gastronómicos, festival de música, filas de espera, entradas

## Introducción

En Argentina, las transacciones electrónicas inmediatas se duplicaron en un año, alcanzando más de 255 millones de operaciones en mayo de 2023, con un crecimiento interanual del 100,7% [1]. Este crecimiento refleja una clara tendencia hacia los medios de pago digitales. Sin embargo, en eventos masivos la conectividad móvil suele verse comprometida debido a la saturación de antenas celulares en zonas muy concentradas de público. Esto obliga a muchos usuarios a recurrir al pago en efectivo, pese a la creciente tendencia digital. Los eventos masivos, como recitales y festivales, enfrentan desafíos significativos en la gestión de pedidos y la atención al público. La prevalencia de procesos manuales, fallas en la conectividad y la falta de sistemas de información integrados a menudo resultan en largas filas, demoras en las transacciones y una experiencia insatisfactoria para los asistentes. Estos problemas no solo afectan la percepción del evento, sino que también limitan la capacidad de los organizadores para obtener datos valiosos sobre el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



consumo y el comportamiento del público. El principal problema que se aborda es la falta de un sistema digitalizado que ofrezca una solución integral para la autogestión de pedidos y la administración eficiente de los puestos de venta, aún en establecimientos donde la conectividad es inestable.

La solución propuesta, KiuApp, tiene como objetivo mitigar estas problemáticas mediante la implementación de un sistema que permita a los asistentes realizar pedidos desde sus dispositivos, programar horarios de retiro, efectuar pagos a través de una billetera cashless integrada, que ofrece funcionalidades en modo offline para garantizar las transacciones en contextos de conectividad limitada y acceder a información relevante del evento. Para los organizadores del evento y operadores de puestos, el sistema proporciona una plataforma centralizada para la gestión de productos, reportes y métricas en tiempo real. La utilidad esperada es transformar la gestión de eventos, haciendo las operaciones más fluidas y rentables. KiuApp tendrá aplicaciones prácticas en una amplia gama de eventos, mejorando la experiencia general y proporcionando una ventaja competitiva a sus usuarios.

## Marco Teórico

En el contexto de la Ingeniería en Sistemas de Información, el marco teórico de KiuApp se fundamenta en la necesidad de sistemas de gestión que optimicen procesos y mejoren la experiencia del usuario. La problemática central se basa en las limitaciones de los sistemas de pedidos tradicionales en entornos de alta demanda, donde los procesos manuales y la falta de digitalización generan cuellos de botella. El desarrollo de KiuApp se basa en la conceptualización de sistemas de información que no solo facilitan transacciones, sino que también recopilan datos para la toma de decisiones, mejorando la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Se ha tomado como referencia la teoría de la experiencia de usuario (*UX*) y la usabilidad, buscando diseñar una interfaz intuitiva y accesible para todos los perfiles de usuario.

## Objetivo

El objetivo general del presente proyecto es diseñar, desarrollar e implementar KiuApp, un sistema de gestión integral para eventos masivos, que permita optimizar la gestión de pedidos, reducir los tiempos de espera, mejorar la experiencia global de los asistentes y garantizar un funcionamiento eficiente incluso en contextos de conectividad limitada.

## Ventajas

KiuApp presenta múltiples ventajas frente a otras soluciones similares existentes en el mercado. Entre las más destacadas se encuentran:

***Optimización de tiempos de espera***

Al digitalizar y ordenar el proceso de pedido, se reducen significativamente las filas y tiempos de atención en los puestos de venta.

***Experiencia de usuario mejorada***

La interfaz intuitiva permite a los asistentes realizar sus pedidos de forma rápida y cómoda desde sus dispositivos móviles.

***Gestión operativa centralizada***

Los organizadores pueden monitorear en tiempo real el estado de los pedidos, la demanda por puesto y el desempeño general del evento. A su vez, los asistentes pueden visualizar el estado actualizado de sus pedidos e incluso reportar incidencias de los mismos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Resiliencia ante fallos de conectividad***

El sistema fue pensado para operar eficientemente incluso con conectividad intermitente, garantizando continuidad operativa.

***Obtención de datos estratégicos***

La recopilación de métricas permite a los organizadores de eventos y puestos tomar decisiones informadas, evaluar resultados y planificar futuras ediciones del evento en base a los datos pertinentes proporcionados.

**Módulos que Componen al Sistema**

KiuApp se compone de dos grandes módulos principales: el *Back Office de administración (aplicación web)* y la aplicación para el usuario final *(Progressive Web App)*.

**1. *Back Office***

Este módulo es una aplicación web diseñada para ser ejecutada en escritorio. Se enfoca en la administración del sistema, de los puestos y de los eventos. Está dirigido a aquellas personas que gestionan el sistema, trabajan en los puestos de venta, resuelven incidencias, gestionan el personal del evento o del puesto o controlan el acceso a los eventos.

***Módulos de parametrización***

Este módulo permite la configuración general del sistema y la gestión de los eventos. Está orientado a los administradores de sistema, puestos y eventos, quienes pueden definir y modificar eventos, asignar responsables, y organizar elementos clave como tipos de productos, categorías de puestos y roles (Ver figura 1, Pantalla de gestión de eventos). Su objetivo es brindar flexibilidad y control sobre la estructura operativa de la aplicación, adaptándose a las necesidades específicas de cada evento.




**Figura 1. Pantalla de gestión de eventos**

***Módulos de administración***

Este módulo permite gestionar los distintos componentes operativos del sistema. Incluye herramientas para administrar puestos, como se puede observar en la figura 2: Pantalla de creación de un puesto, productos, pedidos, usuarios, incidencias y permisos, entre otros, facilitando el control integral de cada evento, puesto y del sistema en general. Su objetivo es garantizar una gestión eficiente y centralizada.




**Figura 2. Pantalla de creación de puesto**

***Módulo de reportes***

Este módulo proporciona información clave sobre el desempeño del evento o puesto a través de reportes y visualizaciones. Permite acceder al histórico de pedidos, así como a paneles de control con métricas sobre ventas, consumo, entradas e incidencias, como se muestra en la figura 3, Pantalla Dashboard de Entradas. Su objetivo es brindar a los administradores una visión clara y en tiempo real que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



facilite la toma de decisiones y el análisis de resultados.



**Figura 3. Pantalla Dashboard de Entradas**

### *2. Aplicación para el usuario final*

Este módulo es la aplicación web para el usuario final, pensada para ser usada en dispositivos móviles. Su objetivo es facilitar la interacción del asistente con el evento.

#### *Para explorar la oferta*

Este módulo permite al usuario final explorar la oferta disponible en el evento. En la figura 4, Pantalla de visualización de puesto, se observan las funcionalidades incluidas: buscar, filtrar y visualizar eventos, consultar detalles de cada uno, acceder a sus entradas adquiridas, explorar los puestos participantes, visualizar un mapa interactivo del evento y descubrir productos y puestos recomendados.




**Figura 4. Pantalla de visualización de puesto**

#### *Autogestión de pedidos*

Este módulo permite a los asistentes gestionar de manera autónoma sus pedidos dentro del evento. Los usuarios pueden iniciar pedidos, previsualizar su pedido, programarlos, acceder a opiniones y calificaciones, realizar el pago (ver figura 5, Pantalla de pago de un pedido), seguir el estado de sus pedidos y consultar su historial. También se incluye la posibilidad de reportar incidencias, y recibir notificaciones en tiempo real.

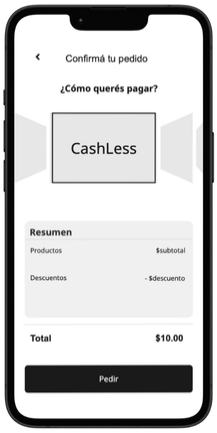



**Figura 5. Pantalla de pago de pedido**

#### *Autogestión de acceso*

Este módulo facilita la gestión del acceso de los usuarios a la aplicación. A través de herramientas de registro, inicio de sesión, recuperación de cuenta, modificación de datos personales e idioma, los asistentes pueden administrar su perfil de forma segura y sencilla. Ver Figura, Pantalla de edición de perfil. También se contempla la posibilidad de dar de baja una cuenta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**Figura 6. Pantalla de edición de perfil**

### Modelo de Datos

Para realizar el modelo de datos, se eligió utilizar un diagrama de clases de entidad, que muestra las entidades del sistema, sus atributos y las relaciones entre ellas.

Debido a que el modelo cuenta con bastantes entidades, en la figura 7, Modelo de datos reducido, se puede observar una versión reducida para una mejor comprensión, con las entidades involucradas.

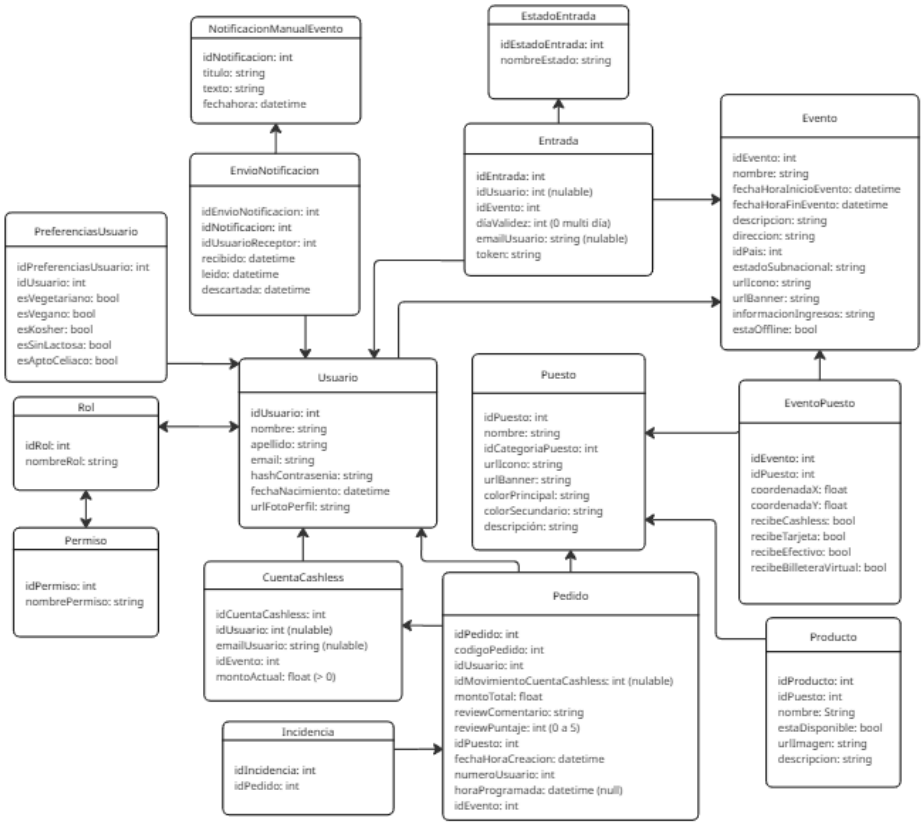



**Figura 7: Modelo de datos reducido**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Arquitectura del Software**

La arquitectura del software de KiuApp fue diseñada para ser modular y escalable. Se utiliza un modelo cliente-servidor (*front-end / back-end*) con separación de responsabilidades, facilitando su escalabilidad.

En la API las solicitudes HTTP son gestionadas por rutas y controladores, que interactúan con la lógica de negocio (servicios y modelos de acceso a datos). Esta lógica se conecta a bases de datos persistentes y APIs externas para funcionalidades adicionales. La API procesa peticiones, aplica reglas de negocio y gestiona datos e integraciones externas.

Esta arquitectura permite una separación de preocupaciones, donde la capa HTTP maneja la comunicación con el cliente, la lógica de negocio procesa las operaciones internas del sistema, y los componentes externos proporcionan el almacenamiento de datos y la integración con servicios de terceros.

El front-end presenta una arquitectura dividida por módulos, similar a un árbol inverso cuya raíz es el módulo base, permitiendo la incorporación paralela de funcionalidades, optimizando los tiempos de desarrollo. En la figura 8, Diagrama de arquitectura, se muestra un diagrama que resume la arquitectura del sistema back-end.

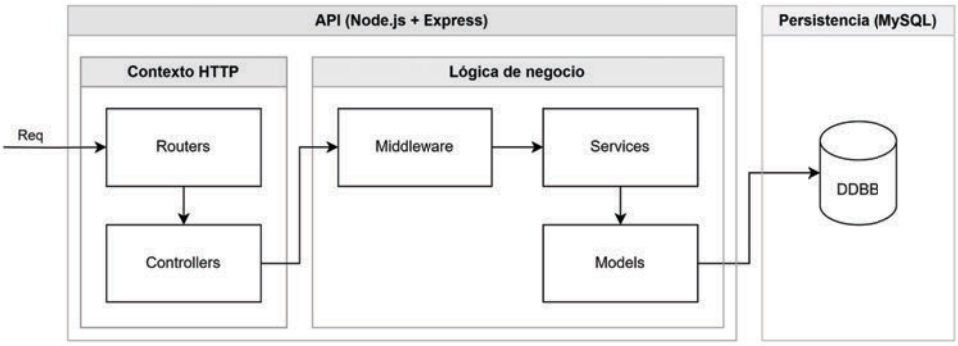



**Figura 8: Diagrama de arquitectura**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Metodología y Tecnologías Utilizadas**

El desarrollo del sistema de KiuApp se basa en el uso de diversas tecnologías, tanto para el Frontend como para el Backend. A continuación se mencionan las mismas.

**1. *Backend***

Las principales herramientas utilizadas para el desarrollo del Backend de KiuApp son:

***TypeScript [2]***

Es un superconjunto de JavaScript que incorpora tipado estático, mejorando la escalabilidad y mantenibilidad del código.

***Node.js [3]***

Es un entorno de ejecución que permite utilizar JavaScript en el servidor.

***Express [4]***

Es un framework minimalista y flexible para Node.js, que permite construir APIs REST de manera rápida y estructurada.

***TypeORM [5]***

Es un ORM (Object Relational Mapping) que facilita la interacción con bases de datos relacionales a través de modelos definidos en TypeScript.

***JWT (JSON Web Token) [6]***

Es una tecnología para la autenticación y autorización basada en tokens firmados, utilizada para proteger rutas y validar usuarios.

**2. *Frontend***

Las principales herramientas utilizadas para el desarrollo del Frontend de KiuApp son:

***TypeScript [2]***

Ya mencionada anteriormente. Se utiliza también para el Frontend.

***React [7]***

Es una biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario basadas en componentes reutilizables y eficientes.

***Vite [8]***

Es una herramienta de construcción (*build tool*) moderna que permite un desarrollo frontend más rápido mediante recarga en caliente y tiempos de compilación optimizados.

***MUI Core Material UI [9]***

Biblioteca de componentes de React de código abierto que implementa Material Design de Google.

**3. *Bases de Datos***

***MySQL [10]***

Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales utilizado para almacenar y gestionar los datos del sistema.

***DBeaver [11]***

Es un software cliente de SQL y una herramienta de administración de bases de datos.

**4.*Control de versionado y almacenamiento de código***

***Git [12]***

Es un sistema de control de versiones distribuido que permite llevar un registro detallado de los cambios en el código fuente. Es muy utilizado en entornos de desarrollo colaborativo, ya que facilita el trabajo en equipo y la gestión de distintas versiones del software.

***GitHub[13]***

Es una plataforma basada en la nube que permite alojar repositorios de código. Facilita la colaboración entre desarrolladores, ofreciendo herramientas para gestionar versiones, realizar revisiones de código y coordinar tareas dentro de un proyecto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***GitKraken [14]***

Es una herramienta gráfica (GUI) para gestionar repositorios de Git de forma visual, sin necesidad de usar la terminal.

**5. *Herramientas de prueba y gestión de proyectos***

***Plane [15]***

Es una herramienta de gestión de proyectos de código abierto, diseñada para ayudar a planificar, organizar y rastrear el progreso de proyectos

***Miro [16]***

Es una herramienta digital de colaboración visual que permite trabajar en pizarras blancas virtuales de forma remota y en tiempo real.

***Slack [17]***

Es una herramienta de comunicación empresarial diseñada para mejorar la colaboración entre miembros de un equipo.

## Oportunidades de crecimiento

KiuApp cuenta con un amplio potencial de crecimiento a corto y mediano plazo. Algunas de las principales oportunidades identificadas son:

***Integración con sistemas de pago avanzado***

Si bien se implementa el pago por medio de la plataforma de KiuApp mediante cuentas cashless, incorporar billeteras virtuales, códigos QR y sistemas *contactless* ampliaría las opciones de pago y mejoraría aún más la experiencia del usuario.

***Análisis predictivo con inteligencia artificial***

El uso de IA permitiría anticipar la demanda en los puestos, optimizar el stock de productos en base a ello y distribuir eficientemente los recursos humanos. KiuApp implementará modelos de IA para la predicción de puestos recomendados para los asistentes, en base a su historial de pedidos.

***Desarrollo de una app nativa***

Una versión móvil nativa podría ofrecer mejor rendimiento, notificaciones en tiempo real y funcionalidades offline más robustas.

***Alianzas con organizadores y municipios***

Establecer convenios permitiría implementar KiuApp como solución oficial en eventos públicos y privados, generando sinergias y visibilidad.

## Trabajos Relacionados

Durante la etapa de relevamiento, se analizaron diversas soluciones existentes vinculadas a la gestión de pedidos y la experiencia de usuario en entornos de alta demanda. Entre los sistemas estudiados se destacan la aplicación de McDonald's [18], la plataforma de PedidosYa[19], la aplicación Skippio[20], y la app oficial de Lollapalooza Argentina[21].

La aplicación de McDonald's ofrece una experiencia optimizada para el usuario en entornos controlados como locales propios, permitiendo realizar pedidos anticipados, elegir la forma de entrega y pagar de forma digital. Sin embargo, su funcionamiento está fuertemente atado a una infraestructura fija y estable, poco adaptable a contextos de eventos móviles o temporales.

PedidosYa, por su parte, representa un sistema robusto de pedidos y entregas a domicilio, con una amplia red de comercios y repartidores. Aunque su arquitectura es escalable, su implementación en eventos masivos presenta desafíos, como la necesidad de geolocalización precisa y conexión constante a internet.

Skippio se presenta como una solución orientada a agilizar la atención de eventos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



deportivos masivos mediante pedidos móviles y pagos digitales. No obstante, su enfoque está más alineado a eventos deportivos, y no contempla funcionalidades específicas para el entorno dinámico y multivendedor de un evento masivo.

Por último, la app oficial de Lollapalooza Argentina incluye funcionalidades centradas en la experiencia del asistente, como mapas, horarios y notificaciones, pero su integración con procesos de compra es limitada. No se evidenció una solución integral para la gestión de pedidos ni para la optimización de los puestos de venta.

En este sentido, KiuApp se posiciona como una propuesta superadora al integrar de manera específica la gestión operativa de los puestos de venta, la toma de pedidos y la experiencia del asistente, contemplando escenarios de conectividad variable y necesidades particulares de los organizadores. A diferencia de las soluciones analizadas, KiuApp está pensada desde su origen para el entorno de eventos masivos, lo cual le otorga una ventaja significativa en términos de adaptación, eficiencia y valor agregado.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

La aplicación desarrollada, KiuApp, es una herramienta esencial tanto para los asistentes a eventos masivos como para los organizadores. Proporciona a los usuarios un sistema que les permite comunicarse de manera rápida y eficiente con los puestos de venta, lo cual es fundamental para mejorar la experiencia y la satisfacción general. La posibilidad de enviar notificaciones y alertas precisas permite a los usuarios obtener sus productos de manera oportuna, aumentando así la efectividad de las transacciones.

Además, esta aplicación ofrece a los organizadores de eventos una forma eficaz de recibir y procesar información crucial sobre el consumo. La trazabilidad y precisión proporcionadas por el sistema mejoran la toma de decisiones, permitiendo un seguimiento más exacto de las operaciones y una respuesta adecuada. La comunicación entre los usuarios y los puestos de venta se fortalece, ya que ambos tienen acceso a información actualizada y relevante sobre los pedidos en curso. Un aspecto positivo logrado en este proyecto fue la elección del tipo de sistema híbrido: una Progressive Web App (PWA) para los usuarios finales y un backoffice web para administradores y organizadores. Esta decisión permitió ofrecer una solución multiplataforma, accesible desde cualquier dispositivo sin necesidad de instalaciones complejas, y adaptable a contextos de conectividad limitada.

El diseño modular y la arquitectura limpia del software facilitan no solo el mantenimiento del sistema, sino también su expansión futura, asegurando que KiuApp continúe siendo una solución relevante y eficaz para la gestión de eventos masivos.

Desde el punto de vista tecnológico, la selección de un único lenguaje de programación (TypeScript) favoreció la coherencia del código y un desarrollo más rápido y fluido. Sobre esta base se emplearon herramientas modernas: Node.js, Express y TypeORM en el backend; React, Vite y Material UI en el frontend; y MySQL como sistema de base de datos. Esta arquitectura modular y escalable permite mantener y expandir el sistema con facilidad, asegurando su vigencia futura.

Para el testing y aseguramiento de la calidad, se incorporaron pruebas unitarias y de integración en los módulos principales,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



lo que permitió validar tempranamente la robustez del sistema y reducir riesgos. Esto contribuyó a garantizar un producto final estable y confiable.

SCRUM resultó muy eficiente en el desarrollo ya que permitió corregir el curso del proyecto al momento de detectar mejoras en la experiencia del usuario y flujo de la información, especialmente en los momentos de retrospectiva. El seguimiento por la plataforma Plane resultó eficaz y sencillo, permitiendo una fluída comunicación incluso en periodos de tareas asíncronas.

**Agradecimientos**

Agradecemos profundamente a todos los docentes que nos han formado durante nuestra carrera universitaria, cuyos conocimientos y valores transmitidos son cruciales en la realización del proyecto presentado.

## Referencias

[1] Banco Central de la República Argentina (BCRA). Informe sobre Bancos. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.bcra.gob.ar

[2] TypeScript. (s.f.). TypeScript: JavaScript With Syntax For Types. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.typescriptlang.org

[3] Node.js. (s.f.). Node.js. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://nodejs.org/

[4] Express. (s.f.). Express: Infraestructura de aplicaciones web Node.js. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://expressjs.com/

[5] TypeORM. (s.f.). TypeORM. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://typeorm.io/

[6] JWT.IO. (s.f.). JWT.IO. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://jwt.io/

[7] React. (s.f.). React. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://es.react.dev

[8] Vite. (s.f.). Vite | Next Generation Frontend Tooling. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://vitejs.dev/

[9] MUI Core Material UI Recuperado el 4 de Agosto de 2025 de https://mui.com/material-ui/.

[10] MySQL. (s.f.). MySQL. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.mysql.com/

[11] DBeaver. (s.f.). DBeaver Community | Free Universal Database Tool. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://dbeaver.io/

[12] Git. (s.f.). Git. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://git-scm.com/

[13] GitHub. (s.f.). The GitHub Blog. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://github.blog/

[14] GitKraken. (s.f.). About GitKraken | The Git Tools Company. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.gitkraken.com/about

[15] Plane. (s.f.). Plane - The Open Source Project Management Tool. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://plane.so/

[16] Miro. (s.f.). Miro: your visual workspace. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://miro.com/

[17] Slack. (s.f.). AI Work Management & Productivity Tools. Slack. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://slack.com/

[18] McDonald's. (s.f.). McDonald's. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.mcdonalds.com/

[19] PedidosYa. (s.f.). PedidosYa. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.pedidosya.com.ar/

[20] Skippio. (s.f.). Skippio. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://skippio.com/

[21] Lollapalooza Argentina. (s.f.). Lollapalooza Argentina. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de https://www.lollapaloozaar.com/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Mappas: Plataforma Digital para la Gestión y Trazabilidad de Terrenos Rurales

**Andrade, Federico Valentín - Dominguez, Martina Abril - Martinez, Tomas - Olaciregui Bonilla, Francisca María - Pérez Gribnicow, Irina Maia**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*El presente trabajo expone el desarrollo de Mappas, una plataforma digital concebida para optimizar la gestión de terrenos y la toma de decisiones en entornos rurales. La iniciativa surge frente a la carencia de soluciones que integren en un mismo sistema la delimitación geográfica de terrenos, el registro de información operativa y la incorporación de datos climáticos y del suelo, con especial énfasis en el funcionamiento en zonas con conectividad limitada. La propuesta combina una aplicación web y una aplicación móvil multiplataforma, diseñadas bajo un enfoque offline-first, junto a un backend basado en Ruby on Rails que expone servicios REST y se conecta a una base de datos MySQL desplegada en infraestructura cloud (AWS). La arquitectura del sistema se apoya en patrones de diseño como MVC y Adapter, lo que permite escalar la solución, garantizar la mantenibilidad y facilitar la integración con servicios externos como OpenWeatherMap y SoilGrids. Las funcionalidades principales incluyen: trazar polígonos representando lotes, adjuntar información y documentos asociados, consultar datos climáticos y del suelo tanto en tiempo real (con conexión) como de forma offline (utilizando la última información guardada en el dispositivo), y compartir información con otros usuarios de manera controlada. El sistema incorpora además mecanismos de sincronización y control de conflictos, asegurando integridad y continuidad de los datos en escenarios offline. En la actualidad, el proyecto se encuentra en etapa intermedia de desarrollo, con la planificación, factibilidad y arquitectura ya definidas, además de los primeros prototipos de interfaces y flujos críticos. Estos avances confirman la factibilidad técnica y el potencial de Mappas como una herramienta innovadora, con proyección hacia la digitalización y trazabilidad integral de los procesos productivos.*

**Palabras Clave**
gestión de terrenos, mapas digitales, sincronización offline, integración de APIs, arquitectura en la nube.

## Introducción

En el ámbito de la agricultura y la gestión de tierras rurales, la digitalización ha cobrado una relevancia creciente en los últimos años. El avance de las tecnologías aplicadas al sector agropecuario ha permitido el surgimiento de aplicaciones que ofrecen funcionalidades para monitorear cultivos, gestionar maquinaria o consultar información ambiental. Sin embargo, gran parte de estas soluciones presentan limitaciones significativas: suelen estar ligadas a marcas de equipos, requieren conectividad constante o carecen de herramientas que integren en un único sistema la delimitación de terrenos, la consulta de datos externos y la colaboración entre usuarios.

El problema central que motiva este trabajo radica en que productores y administradores se ven obligados a utilizar planillas manuales, aplicaciones aisladas o anotaciones físicas, lo cual deriva en pérdida de información, baja trazabilidad y menor capacidad de toma de decisiones. En particular, en zonas con conectividad limitada, la ausencia de herramientas digitales con soporte offline constituye una barrera concreta para la adopción tecnológica.

En este contexto, se propone el desarrollo de Mappas, una plataforma web y móvil que busca optimizar la gestión y trazabilidad de terrenos, mediante la integración de mapas interactivos, datos de clima y suelo, y un enfoque offline-first que garantiza el acceso y la continuidad del trabajo incluso sin conexión. La solución apunta a mejorar la eficiencia operativa, la centralización de información y la autonomía de los usuarios, contribuyendo al proceso de digitalización del sector agropecuario argentino.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El objetivo de Mappas es ayudar en el procesos de digitalización de la información agropecuaria y la administración tanto del terreno, como de la organización que lo trabaja, presentando una solución eficiente a los problemas de la falta de comunicación y administración que ocurren a menudo en el sector agropecuario.
El presente documento se organiza de la siguiente manera: en primer lugar, se exponen los objetivos del proyecto y ciertas hipótesis que guían el presente trabajo. Seguidamente, se presentan la definición del problema y los desafíos actuales del sector. A continuación, se detalla la propuesta tecnológica y la metodología de desarrollo empleada. Posteriormente, se describen la arquitectura, los módulos y las integraciones principales. Finalmente, se discuten los avances alcanzados, las limitaciones actuales y las proyecciones futuras del proyecto.

## 1. Objetivos del Proyecto

El objetivo general del proyecto es desarrollar y validar una plataforma digital para la gestión y trazabilidad de terrenos rurales, que centralice información geográfica, climática y productiva, optimizando los procesos de administración, la toma de decisiones y la transparencia en las actividades agropecuarias.

Entre los objetivos específicos del proyecto encontramos:

- Examinar las prácticas actuales de gestión de tierras rurales (catastro, uso del suelo, registros operativos) con el fin de identificar limitaciones y requerimientos que orienten el diseño de la plataforma.
- Diseñar la arquitectura tecnológica del sistema, abarcando la interfaz de usuario, la base de datos en la nube y los mecanismos de integración con fuentes externas de información.
- Implementar funcionalidades centrales tales como la delimitación de terrenos mediante mapas interactivos, el registro de actividades y cultivos, la integración de datos de clima y suelo, y el soporte para trabajo colaborativo.
- Incorporar un enfoque offline-first que garantice operatividad en escenarios de baja conectividad, mediante mecanismos de sincronización y resolución de conflictos.
- Evaluar la usabilidad y desempeño de la plataforma a través de prototipos funcionales y pruebas piloto con actores del sector (productores, administradores, entre otros).
- Medir los beneficios de la solución en términos de eficiencia operativa, reducción de errores, trazabilidad de procesos y potencial de adopción en contextos rurales argentinos.

## 2. Hipótesis del Proyecto

Las hipótesis constituyen los supuestos iniciales que guían la investigación y el desarrollo de Mappas. A partir de ellas se orienta la validación experimental y se definen los objetivos que permiten corroborarlas o refutarlas.

### 2.1 Hipótesis Principal

Hipótesis Nula ($H_0$): La implementación de una plataforma digital con enfoque offline-first para la gestión y trazabilidad de terrenos rurales no produce mejoras significativas en la eficiencia operativa, la confiabilidad de los datos ni la toma de decisiones, en comparación con los métodos tradicionales (planillas manuales, aplicaciones aisladas o registros físicos).

Hipótesis Alternativa ($H_a$): La implementación de una plataforma digital con enfoque offline-first para la gestión y trazabilidad de terrenos rurales mejora significativamente la eficiencia operativa, la confiabilidad de los datos y la toma de decisiones, en comparación con los métodos tradicionales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 2.2 Hipótesis Secundarias

En cuanto a las hipótesis secundarias, el presente trabajo plantea que:

- La capacidad de operar en escenarios de baja conectividad mediante un enfoque offline-first permitirá garantizar la continuidad del trabajo y la integridad de la información.
- La integración de datos climáticos y de suelo a través de APIs externas mejorará la precisión y confiabilidad de la planificación agrícola.
- La centralización de información geográfica, productiva y documental en un único sistema reducirá la fragmentación de registros y aumentará la eficiencia en la gestión de terrenos.
- El soporte para trabajo colaborativo, con perfiles diferenciados y control de accesos, favorecerá la trazabilidad y la transparencia en la administración de tierras.
- Una interfaz intuitiva y multiplataforma aumentará la aceptación de la herramienta por parte de productores y administradores rurales sin formación técnica avanzada.

Estas hipótesis se pondrán a prueba a través de prototipos, pruebas piloto y métricas de eficiencia.

## 3. Contexto y Motivación

La transformación digital ha alcanzado al sector agropecuario, promoviendo el uso de herramientas para el registro de datos, la planificación productiva y el acceso a información ambiental en tiempo real. Sin embargo, gran parte de las soluciones existentes presentan limitaciones de costo, accesibilidad y dependencia de conectividad constante, lo que restringe su adopción en explotaciones medianas o pequeñas.

En particular, en el ámbito rural argentino, la falta de sistemas integrales y adaptados a entornos con baja conectividad genera una brecha tecnológica que impacta en la eficiencia y en la capacidad de tomar decisiones oportunas.

En este escenario surge Mappas, un sistema diseñado para centralizar información de terrenos, integrar fuentes externas de datos y garantizar operatividad offline, con el fin de ofrecer una herramienta práctica y accesible que potencie la gestión y trazabilidad de las actividades rurales.

## 4. Definición del problema

La gestión de terrenos rurales presenta múltiples dificultades que aún no están adecuadamente resueltas por las soluciones disponibles. Entre ellas se destacan la fragmentación de la información en distintos soportes, la dependencia de la conectividad para acceder a datos relevantes y la escasa trazabilidad histórica de las actividades realizadas en cada lote. Esta situación afecta la capacidad de agricultores, administradores y empresas agroindustriales para organizar su trabajo y tomar decisiones basadas en información confiable y actualizada.

Con el fin de abordar esta problemática, se definieron los siguientes requerimientos funcionales que el sistema debe cumplir:

- Permitir la delimitación digital de terrenos mediante la selección de polígonos en mapas interactivos.
- Registrar y almacenar información asociada a cada lote (descripción, tamaño, notas, archivos adjuntos).
- Integrar datos externos de clima y suelo a través de APIs, asegurando que los datos puedan consultarse en tiempo real cuando existe conexión y que la última información obtenida se almacene localmente en el dispositivo para garantizar su acceso sin conexión.
- Facilitar la colaboración entre usuarios mediante perfiles diferenciados y control de accesos.
- Asegurar la sincronización de datos en modo offline, resolviendo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



posibles conflictos entre ediciones simultáneas.

Asimismo, se identificaron requerimientos no funcionales que orientan el diseño y la arquitectura del sistema:

- Una interfaz intuitiva y de fácil aprendizaje, pensada para usuarios sin formación técnica.
- Operatividad en entornos con baja conectividad, garantizando el uso offline.
- Una arquitectura modular y escalable, que permita mantener y ampliar el sistema en el futuro.
- Autenticación segura y protección de datos, resguardando la privacidad de los usuarios.
- Acceso multiplataforma desde navegadores web y dispositivos móviles.
- Consistencia y respaldo de la información, minimizando riesgos de pérdida de datos.

De esta manera, la definición del problema no se limita a identificar una carencia tecnológica, sino que establece las condiciones necesarias para que la solución propuesta resulte efectiva, sostenible y adaptable a las necesidades del sector.

**5. Propuesta de solución**

La solución, denominada Mappas, es una plataforma digital integral diseñada para responder a las necesidades de gestión de terrenos rurales, centralizando funcionalidades que actualmente se encuentran dispersas o son inaccesibles en entornos de baja conectividad. El sistema se materializa en una aplicación web y una móvil, ambas pensadas para distintos perfiles de usuario, desde productores hasta administradores de grandes superficies.

Las funcionalidades clave que definen la propuesta de valor de Mappas son:

- Delimitación y Gestión Detallada de Terrenos: El núcleo del sistema es la capacidad de delimitar digitalmente los lotes mediante polígonos interactivos sobre un mapa. A cada terreno se le puede asociar un registro detallado que incluye la carga de información sobre cultivos, estado del terreno, notas, maquinaria utilizada e historial de actividades. Adicionalmente, cuenta con un módulo de archivos adjuntos para complementar la información con fotos, planos o documentos PDF.
- Integración de Datos Ambientales Externos: Para enriquecer la toma de decisiones, Mappas se integra con APIs externas especializadas. Esto permite a los usuarios consultar, directamente desde la ficha del terreno, datos climáticos actualizados y pronósticos (provistos por OpenWeatherMap) y características específicas del suelo como pH, densidad y capacidad de retención hídrica (provistos por SoilGrids). Esta información se puede almacenar en caché para su consulta offline.
- Arquitectura Offline-First para Operatividad Real en Campo: Reconociendo la conectividad limitada en muchas zonas rurales, la plataforma fue concebida con un enfoque offline-first. Los usuarios pueden acceder a los mapas, visualizar terrenos previamente cargados y registrar nueva información sin conexión a internet. La aplicación móvil utiliza una base de datos local para almacenar los cambios , los cuales son sincronizados de forma automática con el servidor central una vez que se recupera la conexión, mediante un módulo de sincronización que gestiona y resuelve posibles conflictos de edición.
- Gestión Colaborativa con Roles y Permisos: La plataforma incorpora un componente colaborativo que permite al propietario de un terreno gestionar colaboradores. Es posible invitar a otros usuarios (como

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ingenieros agrónomos o encargados de campo) y asignarles permisos diferenciados para visualizar o editar la información de lotes específicos, asegurando la trazabilidad de las acciones y fomentando el trabajo en equipo.

En su conjunto, Mappas se proyecta como una herramienta que no solo digitaliza el registro de información, sino que lo centraliza y enriquece, garantizando su disponibilidad y consistencia incluso en las condiciones adversas del entorno rural argentino.

**6. Metodología y Desarrollo**

El desarrollo de Mappas se llevó a cabo aplicando la metodología ágil Scrum, elegida por su capacidad de adaptarse a proyectos con alto grado de incertidumbre y por facilitar la entrega incremental de valor. Esta metodología permitió organizar el trabajo en ciclos cortos y fomentar la retroalimentación continua sobre el producto.

El equipo se conformó con roles diferenciados según las competencias de cada integrante: Project Manager a cargo de la coordinación general, Product Owner responsable de priorizar funcionalidades y representar la visión del cliente, desarrolladores Backend, Frontend y Full-Stack para la construcción técnica, un Quality Analyst encargado de validar los entregables y un System Architect / Cloud Engineer para la definición de la arquitectura e infraestructura. Esta estructura garantizó una distribución clara de responsabilidades y un flujo de comunicación efectivo.

El avance se planificó en sprints quincenales, agrupados en releases que permitieron abordar primero el análisis de factibilidad y los prototipos iniciales, para luego enfocarse en la implementación de los módulos centrales, como la delimitación de terrenos, la integración con servicios externos y el soporte offline. Cada sprint incluyó instancias de planificación, revisión y retrospectiva, lo que aseguró el cumplimiento de los objetivos y la mejora continua del equipo.

**7. Arquitectura y Tecnologías**

La arquitectura de Mappas se concibió con un enfoque modular y distribuido, siguiendo una separación clara entre la capa de presentación, la lógica de negocio y la persistencia de datos. La plataforma se compone de una aplicación web desarrollada en React.js, orientada a la gestión y visualización de terrenos desde navegadores modernos; una aplicación móvil en React Native, diseñada para acompañar al usuario en campo y con especial atención al funcionamiento en entornos de baja conectividad; y un backend centralizado implementado en Ruby on Rails, que expone una API RESTful para orquestar la comunicación entre los distintos clientes y la base de datos MySQL desplegada en la nube. Esta estructura permite asegurar coherencia entre dispositivos y brindar un entorno flexible para futuras extensiones.

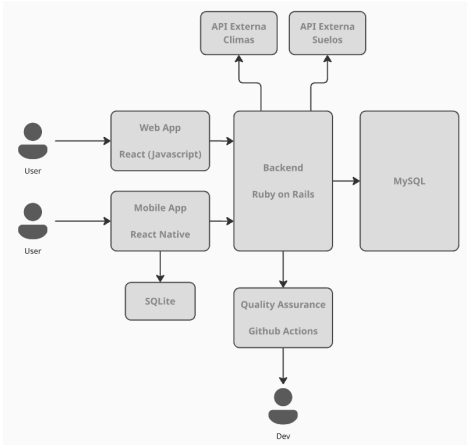



*Figura 1. Diagrama de arquitectura*

**Patrones de Diseño Adoptados**

La arquitectura se fundamenta en patrones de diseño validados para asegurar su calidad:

- Modelo-Vista-Controlador (MVC): Utilizado como guía estructural tanto en el backend de Ruby on Rails como en el frontend. Este

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



patrón separa la lógica de negocio, la presentación y el acceso a datos, favoreciendo la modularidad y la mantenibilidad del código.

- Adapter: Implementado para la comunicación con las APIs externas (OpenWeatherMap y SoilGrids). Este patrón desacopla la lógica interna del sistema de los proveedores de datos, lo que permite reemplazarlos o añadir nuevos en el futuro sin un impacto significativo en el código base.
- Arquitectura Offline-First: Es un pilar del diseño de la aplicación móvil. Las operaciones se realizan primero contra una base de datos local (SQLite) y luego se sincronizan con el servidor central cuando se detecta una conexión a internet. Un módulo de sincronización gestiona el envío de datos y la resolución de conflictos para mantener la integridad de la información.

**Componentes Principales**

El núcleo del sistema gira en torno a la gestión de terrenos representados digitalmente como polígonos en un mapa. Cada lote constituye una entidad sobre la cual se pueden asociar descripciones, atributos personalizados, anotaciones y documentos, conformando así un historial enriquecido. Junto a este módulo central se ubica el componente de información ambiental, encargado de integrar datos climáticos y del suelo que complementan la visión del usuario y facilitan la planificación productiva. Otro pilar es la gestión de usuarios y roles, que incorpora autenticación, permisos diferenciados y soporte para trabajo colaborativo, permitiendo que múltiples actores puedan interactuar con un mismo terreno bajo distintos niveles de acceso. A esto se suma un sistema de anotaciones y archivos adjuntos, pensado para registrar observaciones y respaldos documentales directamente asociados a cada parcela. Finalmente, el soporte offline garantiza que toda esta funcionalidad pueda utilizarse sin conexión, almacenando temporalmente la información para luego sincronizarla con el backend.

**Tecnologías Utilizadas**

La elección de las tecnologías respondió a la necesidad de equilibrar robustez, flexibilidad y accesibilidad. En la capa de presentación se optó por React.js para la versión web, debido a su capacidad de crear interfaces dinámicas y de fácil mantenimiento, mientras que en el ámbito móvil se seleccionó React Native, lo que permitió construir una aplicación multiplataforma con soporte para bases de datos locales y librerías de sincronización. El backend en Ruby on Rails aporta rapidez en el desarrollo de APIs RESTful y un ecosistema maduro para la construcción de aplicaciones escalables. La persistencia se resolvió mediante MySQL en la nube, garantizando integridad relacional y compatibilidad con el resto de la infraestructura. Para el alojamiento y despliegue se adoptó Amazon Web Services (AWS), que aporta servicios gestionados de almacenamiento, ejecución y balanceo de carga. Finalmente, la integración con servicios externos se sustenta en OpenWeatherMap y SoilGrids, que proveen datos climáticos y del suelo esenciales para la propuesta de valor del sistema.

**Despliegue e Infraestructura en la Nube**

La plataforma se despliega sobre Amazon Web Services (AWS) para asegurar escalabilidad y disponibilidad. El backend se ejecuta en contenedores Docker sobre instancias EC2, gestionadas por un Auto Scaling Group para responder a la demanda. El tráfico es distribuido a través de un balanceador de carga (ELB) y gestionado por el servicio de DNS Route 53. El frontend web estático se sirve directamente desde un bucket de Amazon S3, optimizando el rendimiento y reduciendo la carga sobre el backend.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



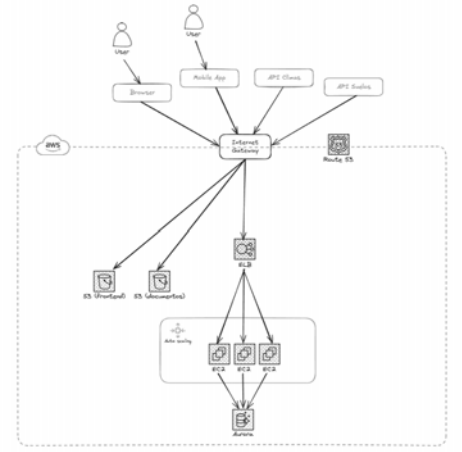


*Figura 2. Diagrama de Despliegue.*

**Trabajos Relacionados**

En el creciente mercado AgTech, han surgido diversas soluciones para la digitalización de la gestión agrícola. Sin embargo, estas presentan limitaciones que Mappas busca superar.

Las herramientas comerciales de gran escala, como FieldView (Bayer) y John Deere Operations Center, ofrecen funcionalidades avanzadas de monitoreo y análisis de datos. Su principal barrera es que suelen estar integradas en ecosistemas cerrados, asociadas a la compra de maquinaria o insumos específicos de la marca. Además, sus modelos de negocio se basan en elevados costos de suscripción y requieren conectividad a internet constante para operar plenamente, lo que restringe su adopción por parte de productores pequeños o medianos y en zonas rurales con infraestructura de red deficiente.

Otras aplicaciones como Agroptima o Sagri se enfocan en nichos más específicos, como el análisis de fertilidad o la gestión de costos, pero no ofrecen una solución integral que combine la delimitación geográfica, la integración de datos ambientales y un robusto soporte offline. Herramientas de uso general como Google Maps/Earth permiten una marcación básica de terrenos, pero carecen de toda funcionalidad específica para la gestión agrícola, como el registro de actividades, la asociación de documentos o la integración con datos de clima y suelo.

En el ámbito académico, se han desarrollado prototipos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a la agricultura. Si bien estos proyectos validan la utilidad de la tecnología, a menudo no trascienden la fase experimental y no abordan requerimientos prácticos fundamentales para la adopción en el campo, como la facilidad de uso para usuarios no técnicos, el trabajo colaborativo o la sincronización de datos en escenarios sin conexión.

En este contexto, Mappas se diferencia al ofrecer una propuesta de valor adaptada a la realidad del sector agropecuario argentino. Sus principales ventajas competitivas son:

- Independencia y Accesibilidad: No está atada a ninguna marca de maquinaria o insumos.
- Enfoque Offline-First: Garantiza la continuidad operativa en zonas de baja o nula conectividad, un diferenciador clave frente a la mayoría de las alternativas.
- Integración de Datos: Centraliza en una única plataforma la delimitación de terrenos, el registro de actividades y la consulta de datos externos de clima y suelo.
- Modelo Colaborativo: Facilita la interacción entre distintos actores (dueños, agrónomos, encargados) con roles y permisos específicos.

De esta manera, Mappas combina aportes de iniciativas comerciales y académicas, pero con un enfoque centrado en la accesibilidad, la usabilidad y la resolución de problemas concretos del productor local.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El desarrollo de Mappas permitió avanzar en la definición de una solución integral para la gestión de terrenos rurales, que combina mapas interactivos, integración de datos externos y operatividad en escenarios de baja conectividad. El trabajo realizado hasta el momento confirma la factibilidad técnica del proyecto y evidencia su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



potencial como herramienta innovadora en el proceso de digitalización del sector agropecuario. Frente a iniciativas comerciales que resultan costosas y dependientes de infraestructura específica, y frente a prototipos académicos que no trascienden el laboratorio, Mappas aporta una propuesta accesible, adaptable y pensada para la realidad local.

Si bien el proyecto aún se encuentra en una etapa intermedia de desarrollo, los avances logrados hasta el momento muestran una correspondencia inicial con las hipótesis planteadas: la plataforma ha demostrado capacidad para operar en entornos de baja conectividad (*offline-first*), integrar información externa de clima y suelo, centralizar registros en un sistema unificado y favorecer dinámicas colaborativas entre usuarios. Aunque todavía no es posible verificar de manera rigurosa la hipótesis principal ni las secundarias, los resultados preliminares sugieren que el sistema se orienta en la dirección prevista y refuerzan la expectativa de que su adopción genere mejoras en eficiencia, trazabilidad y confiabilidad de la información.

Hasta ahora, se logró presentar a Mappas en estado de demo a un cliente interesado en el proyecto, con resultados prometedores, y se implementará en breve un producto mínimo viable para poder tener pruebas más rigurosas y presentaciones más extensas.

De cara al futuro, se plantean varias líneas de trabajo. En primer lugar, la validación mediante pruebas piloto con productores, que permita obtener retroalimentación real y ajustar la herramienta a las necesidades del usuario final. En segundo lugar, la incorporación de módulos de análisis y generación de reportes, orientados a facilitar la toma de decisiones y la planificación a mediano plazo. También se prevé ampliar la integración con nuevas fuentes de datos, como imágenes satelitales o sensores de campo, que potencien el valor de la información almacenada. Finalmente, será necesario profundizar en estrategias de optimización de costos y resiliencia tecnológica, evaluando alternativas para mitigar la dependencia de servicios externos.

En síntesis, Mappas constituye un aporte novedoso en el ámbito de la digitalización agropecuaria, al proponer una plataforma accesible, colaborativa y adaptable a condiciones de conectividad limitadas. Su evolución futura estará marcada por la capacidad de superar las limitaciones actuales, consolidando la herramienta como una solución práctica y escalable para la gestión de terrenos en el sector rural.

**Agradecimientos**

Agradecemos a Gabriela Salem, directora de cátedra y profesora a cargo del curso K5054, y a Federico Casuscelli, profesor a cargo del proyecto.

**Referencias**

[1] Bayer Crop Science. FieldView: Plataforma de Agricultura Digital. 2024. Disponible en: https://climatefieldview.com.ar
[2] John Deere. Operations Center. 2024. Disponible en: https://operationscenter.deere.com
[3] Open Weather. Weather API Documentation. 2024. Disponible en: https://openweathermap.org/api
[4] ISRIC-World Soil Information. SoilGrids. 2024. Disponible en: https://www.isric.org/explore/soilgrids
[5] Scrum.org. The Scrum Guide. 2020. Disponible en: https://scrumguides.org
[6] Amazon Web Services. AWS Well-Architected Framework. 2023. Disponible en: https://aws.amazon.com/architecture/well-architected
[7] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1995.
[8] Couchbase. Offline First Mobile Apps. 2023. Disponible en: https://www.couchbase.com/resources/offline-first
[9] Google Cloud. Best Practices for Building Resilient Applications. 2023. Disponible en: https://cloud.google.com/architecture
[10] Offline First. (s. f.). Offline First. Disponible en: https://offlinefirst.org/
[11] Agroptima. Software y Aplicación de gestión agrícola. 2024. Disponible en: https://www.agroptima.com/
[12] Agri. Software de gestión agrícola. 2024. Disponible en: https://www.agri.com.ar/argentina/

**Datos de Contacto:**

*Andrade, Federico Valentín UTN FRBA.*
*fandrade@frba.utn.edu.ar*

*Dominguez, Martina Abril UTN FRBA.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*martdominguez@frba.utn.edu.ar*

*Martinez, Tomas UTN FRBA.*

*tomamartinez@frba.utn.edu.ar*

*Olaciregui Bonilla, Francisca María UTN FRBA.*

*folaciregui bonilla@frba.utn.edu.ar*

*Pérez Gribnicow, Irina Maia. UTN FRBA.*
*iprezgribnicow@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# FootData: Un Sistema IoT para la Detección y Alerta en Tiempo Real de Lesiones en Deportistas a Través de Sensores Plantares

**Bazzi, Agustín Azariel; Deheza Garvizu, Alejandro Jesus; Fernández, Ignacio; Rodriguez Pardo, Gonzalo; Schneider, Lucas Leonel.**
*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires*

**Abstract**
*En el ámbito deportivo profesional, donde un jugador lesionado representa un perjuicio económico para las instituciones que los contratan, la detección temprana de lesiones es crucial. Actualmente en Argentina, este monitoreo se realiza mediante observación humana, naturalmente pasible de errores. Esta situación supone una oportunidad de mejora. El presente trabajo introduce a FootData, un sistema diseñado para detectar y alertar en tiempo real sobre patrones de marcha compatibles con signos de lesión, a partir de un mapa de calor de la pisada evaluado a través del tiempo, y obtenido de manera transparente al usuario. Esto se consigue mediante el uso de plantillas con sensores piezorresistivos, un esquema IoT, procesamiento en la nube, técnicas de aprendizaje automático, y una interfaz gráfica destinada al equipo médico que facilita la visualización de alertas. Este desarrollo logra potenciar al equipo médico en la toma de decisiones, contribuyendo a una detección temprana de lesiones y optimizando el rendimiento deportivo. FootData representa una evolución del mundo deportivo profesional argentino hacia la toma de decisiones basadas en datos.*

**Palabras Clave**
Medicina deportiva. Aprendizaje automático. Sensores plantares. Internet de las cosas (IoT). Detección temprana de lesiones. Tiempo real.

## Introducción

Con el avance de la tecnología, cada vez más industrias optan por una cultura de toma de decisiones basadas en datos. En este contexto, los deportes profesionalizados, entendidos como industrias donde cuestiones como una lesión de un deportista pueden significar grandes pérdidas monetarias, todavía tienen camino por recorrer en ese aspecto.

Los equipos de la primera división del fútbol argentino han incluído instrumentos de medición electrónicos en partidos y entrenamientos, como es el caso del GPS, que permite registrar métricas relacionadas a la velocidad, aceleración y posicionamiento de un deportista. Sin embargo, pocos equipos han intentado abordar cuestiones relacionadas a la salud de los deportistas con el fin de obtener información sobre su estado minuto a minuto durante el transcurso de un entrenamiento o una competencia. Esto implica que las decisiones que toman preparadores físicos y entrenadores, tanto en entrenamientos como competencias, están limitadas a la percepción de los preparadores físicos y equipo médico en lo que a la salud de los deportistas respecta. Esta percepción, si bien posee un alto porcentaje de efectividad, es propensa a errores humanos. Esta situación supone una oportunidad de mejora, en la que si bien la palabra final con respecto al estado de salud de los deportistas continuará perteneciendo a quienes actualmente la poseen, estos pueden ser potenciados en su toma de decisiones a través de alertas de posibles lesiones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Las entrevistas con referentes confirmaron la existencia de un posible riesgo para la salud física de los deportistas: algunos jugadores (en general los más jóvenes) tienden a ignorar, minimizar o no reportar molestias sentidas, por priorizar el éxito de su carrera profesional antes que su salud física. Situación que se profundiza, según los referentes, al reconocer que ciertas lesiones se agravan en caso de detección tardía, alargando el tiempo de recuperación. Por lo tanto, un mecanismo de detección temprana que potencie las capacidades de los preparadores físicos, sería crucial.

**Trabajos Relacionados y Marco Teórico**

En el año 2014, investigadores de la Universidad de Granada llevaron a cabo el diseño y desarrollo de plantillas con sensores piezorresistivos capaces de analizar el movimiento del pie [1]. Estos dispositivos son capaces de medir en tiempo real tres parámetros: la aceleración y la distribución de la presión de la planta del pie y la posición de éste con respecto al eje vertical y horizontal de una persona. Una vez recolectados los datos, estos podían ser transmitidos de manera inalámbrica a una computadora para el análisis de un especialista.

Para evaluar el funcionamiento de las plantillas, los investigadores llevaron a cabo diferentes pruebas, de las cuales se destacan las realizadas a deportistas. En estos ensayos, se evaluó el funcionamiento del dispositivo y la utilidad de la información recibida al monitorear ejercicios como la carrera o la marcha.

Las pruebas realizadas fueron exitosas y demostraron que el uso de estos dispositivos podría ser un apoyo para detectar indicios de lesión y correlaciones entre factores presentes en la pisada. Un ejemplo de esto es la correlación entre la variación de aceleración lateral y la cantidad de supinación.

Otra investigación que posee alta relevancia para el desarrollo de esta solución fue *Smart Foot Orthotics for Gait Analysis* [2], de Lingjia Zhang. Este texto detalla el proceso de investigación y desarrollo de plantillas con sensores piezorresistivos para el análisis de distintos parámetros de la pisada en el campo médico llevado a cabo por el autor. Las plantillas fueron ideadas con el objetivo de que sean capaces de transmitir datos mediante Bluetooth o WiFi para su posterior análisis. Este trabajo describe distintos factores que fueron tenidos en cuenta a la hora de diseñar el dispositivo electrónico, como los componentes electrónicos a utilizar junto con las plantillas, las etapas en que se divide un proceso de marcha normal y las enfermedades y dolencias que pueden afectar la pisada.

Teniendo en cuenta el análisis realizado y las funcionalidades que los dispositivos manufacturados presentan, se tomó en consideración el desarrollo planteado en la investigación mencionada a la hora de diseñar la solución para FootData, teniendo en particular consideración que la utilización de la solución para FootData apunta a ocurrir dentro de un entorno deportivo profesional.

También se analizó un dispositivo disponible en el mercado argentino, orientado principalmente a aplicaciones médicas. Este equipo permitía obtener información plantar de manera global por

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cuadrantes, con registros breves (~10 s) y limitados en cantidad (vida útil de 100–200 estudios por plantilla). El uso estaba pensado para consultas clínicas puntuales más que para la práctica deportiva: no se recomendaba su empleo en carrera debido a la fragilidad de los sensores, y la aplicación asociada estaba limitada a generar reportes PDF básicos sin acceso abierto a los datos en la nube ni herramientas de análisis avanzado. En consecuencia, si bien constituía una referencia de factibilidad técnica en el país, su alcance no cubría las necesidades de monitoreo continuo y de alta frecuencia requeridas en contextos deportivos de campo.

Adicionalmente, se tuvieron en cuenta otros documentos científicos que analizan la marcha con sensores plantares con propósitos médicos en casos especiales; particularmente, se estudiaron aplicaciones en pacientes con edad avanzada o enfermedad de Parkinson [3], con diabetes [4] y sobre pacientes que fueron expuestos a cirugías de reemplazo de rodilla [5]. Asimismo, se analizó un estudio sobre el uso de estas plantillas para el acatamiento de reglas en eventos de marcha atlética [6], donde estas fueron empleadas para verificar que por lo menos uno de los pies del deportista esté en el piso en todo momento durante la actividad.

Por otro lado, se han estudiado distintos requerimientos de diseño generales para el prototipo a partir de distintas revisiones y comparaciones de prototipos similares realizadas en otras investigaciones [7][8][9]. Estas revisiones permitieron tener una visión más amplia con respecto a distintas condiciones de funcionamiento, así como también, aquellos atributos más buscados en prototipos similares, y los tipos de sensores que mejores resultados obtienen. A su vez, se ha investigado con respecto a desarrollos y diseños concretos de prototipos con aplicaciones similares en investigaciones anteriores [10][11][12], con el fin de enriquecer el diseño del prototipo de FootData a partir de los aciertos y limitaciones de los mismos.

La búsqueda de investigaciones relevantes, también ha permitido encontrar investigaciones en donde se presentan distintos caminos de evolución aplicables al prototipo de FootData, desde la búsqueda de mejoras en la economía energética [13], hasta la inclusión de otros tipos de sensores que complementen los piezorresistivos [14].

FootData posee un diferencial respecto de los trabajos mencionados anteriormente ya que consigue orientar la solución al ámbito deportivo profesional, generando una red de transmisión de datos para aumentar el rango de transmisión de las plantillas, de tal manera que puedan ser usadas durante un entrenamiento o competencia a lo largo del campo de juego. Además, permite la realización de análisis en tiempo real, así como también aumentar el tiempo de análisis aumentando la autonomía del dispositivo de medición. Finalmente, agrega una interfaz gráfica para especialistas médicos que les facilite el análisis.

**Objetivo**

A partir de esto, se estableció como objetivo del presente trabajo desarrollar un sistema capaz de detectar y alertar sobre patrones de marcha compatibles con signos de lesión en deportistas en tiempo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



real. Para esto, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Construir un dispositivo electrónico que pueda medir la distribución de presión plantar para la generación de un mapa de calor de la pisada.
- Entrenar un modelo de Machine Learning con suficiente precisión para la detección de patrones.
- Desarrollar una interfaz de usuario que sea simple e intuitiva para disponibilizar información valiosa.

**Relevamiento**

Se realizó un relevamiento de campo en el cual se destacó la ausencia de un monitoreo instrumentado de lesiones en tiempo real tanto en entrenamientos como en competencias. Al momento de la realización de este trabajo, el monitoreo de lesiones se realiza mediante observación humana. Este monitoreo es realizado por preparadores físicos, que conocen el estado físico de los jugadores a su cargo. En algunos casos la información se almacena de manera digital, en otros casos, la misma no se encuentra digitalizada ni integrada con otros sistemas, por lo que toda propuesta de mejora debe proveer su propia infraestructura de captura, procesamiento y visualización de datos. La detección *in situ* se apoya en evaluaciones funcionales y kinesiológicas, y hoy se utilizan herramientas como GPS o carga interna que no cubren biomecánica plantar fina.

En cuanto al fenómeno físico a medir, se determinó factible utilizar dos plantillas por jugador con 48 sensores piezorresistivos cada una para estimar distribución de presiones plantares (12×4 celdas), con respuesta <10 ms y rango operativo –20 °C a +60 °C *(ver figura 1)*. Estas métricas se encuentran dentro de los límites requeridos para poder monitorear los esfuerzos dinámicos de campo en las condiciones relevadas. La arquitectura prevista contempla una transmisión inalámbrica de datos local BLE desde las plantillas a un proxy adherido al jugador y, desde allí, una transmisión inalámbrica de datos mediante Wi-Fi hacia la nube para procesar y generar alertas. El esquema fue elegido en base a la factibilidad operativa en el campo de juego. Este enfoque aborda los requisitos de energía, alcance y seguridad validados en el estudio (p. ej., autonomía/alcance mínimos y uso de cifrado en el vínculo), así como en la posibilidad de escalar a un contexto de uso con múltiples jugadores de manera simultánea. En el plano de medición y análisis, se formaliza la adquisición continua (≥20 Hz), la transformación de datos en *features*, la detección de patrones y la emisión de alertas, así como el almacenamiento histórico para análisis posteriores. Complementariamente, se realizaron cálculos preliminares de distribución de carga por regiones del pie y etapas de la marcha/carrera (talón, apoyo, impulso) que guían el diseño de *features* y umbrales clínicamente interpretables.

En síntesis, el relevamiento confirmó una brecha entre la necesidad de monitorear signos de lesión y las herramientas disponibles al momento, validó la viabilidad técnica (sensado plantar rápido, transmisión local inalámbrica, procesamiento en la nube) y estableció el marco de requisitos para transformar mediciones plantares en información accionable para el cuerpo médico en tiempo real.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Finalmente, cabe destacar que el desarrollo y despliegue de la solución se encuentran enmarcados en la normativa argentina vigente en materia de transmisión, almacenamiento y resguardo de datos sensibles. En particular, se consideran los lineamientos de la Ley 25.326 de Protección de Datos Personales, la Ley 26.529 de Derechos del Paciente y la Ley 27.553 sobre Protección de Datos Personales de Salud, que regulan el tratamiento de información clínica y biométrica, garantizando su confidencialidad, seguridad y uso legítimo.

**Diseño de la solución general**

A partir de los requerimientos relevados, se diseñó un producto-solución que fuera capaz de satisfacer las necesidades que estos presentaron. El sistema debe ser capaz de obtener datos de la pisada del jugador, transmitir los mismos y notificar al equipo médico o preparadores físicos sobre situaciones que requieran atención.

A partir de esto, se optó por separar la solución en tres módulos conceptuales:

- Un módulo de hardware, compuesto por un dispositivo con la capacidad de obtener mediciones de la presión plantar del jugador y transmitir los datos a una red previamente instalada.
- Un módulo de procesamiento de datos en la nube, que recibirá los datos del módulo anterior y determinará si existe una situación anormal que debe ser notificada.
- Una interfaz de usuario destinada al equipo médico, en la cual se visualizarán las alertas recibidas.

En el anexo se puede visualizar un diagrama del funcionamiento interno del sistema *(ver figura 5)*.

**Implementación de sistemas IoT**

El sistema IoT vincula de forma segura cada dispositivo físico con el deportista que lo porta y con el análisis en curso. Antes de iniciar un análisis, el usuario introduce el código del dispositivo, la plataforma valida que esté registrado y autorizado, y permite asociarlo a un deportista previamente cargado.

Desde ese momento el dispositivo comienza a capturar y enviar lecturas de presión plantar junto con marcas de tiempo, manteniendo un almacenamiento local si la conectividad se interrumpe y reenviando automáticamente cuando se restablece. La comunicación es inalámbrica y cifrada, con autenticación del dispositivo para preservar la integridad de los datos y la trazabilidad por medio de identificadores únicos (dispositivo, deportista y sesión).

Durante un análisis, el sistema publica estados y eventos operativos, de modo que la aplicación pueda mostrar en tiempo real qué deportistas están siendo monitoreados y resaltar a aquellos con comportamiento a revisar.

Al finalizar, el análisis queda archivado en el historial, permitiendo consultar qué dispositivos participaron, su línea de tiempo básica y metadatos relevantes, sin reingresar datos ni repetir la vinculación.

Este esquema soporta múltiples deportistas en paralelo, simplifica el flujo de trabajo del equipo médico y deja al módulo de procesamiento y aprendizaje automático la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tarea de derivar conclusiones a partir de las lecturas.

**Procesamiento de datos en la nube y machine learning**

La plataforma en la nube recibe el flujo continuo de lecturas plantares, las registra de forma segura con su contexto (deportista, sesión y tiempo) y conserva siempre una copia íntegra de los datos crudos para trazabilidad e historial. En paralelo agrupa las lecturas en intervalos breves, verifica su calidad (valores fuera de rango, faltantes o desfasajes) y las enriquece con la información de la sesión de análisis para generar resúmenes e indicadores operativos que el backend pone a disposición de la interfaz. Si en algún momento la conectividad se interrumpe, el sistema reintenta el envío cuando se restablece, manteniendo la confidencialidad de la información y el acceso restringido por roles.

Sobre estos datos procesados actúan los modelos de machine learning, que aprenden el comportamiento habitual de cada deportista y señalan desvíos relevantes con baja latencia. En esta primera etapa, el enfoque prioriza detectar patrones anómalos y cambios sostenidos que puedan ameritar revisión del equipo médico, manteniendo explicaciones simples sobre qué métricas contribuyeron a la alerta. Los resultados retornan a la aplicación como estados claros y accionables, y pueden ser accedidos a través del historial.

**Interfaz gráfica de usuario**

Para el uso del equipo médico del organismo deportivo, se desarrolló una interfaz clara e intuitiva para ayudar a visualizar patrones compatibles con signos de lesión presentes en los jugadores.

La aplicación permite al usuario registrar a los deportistas, con los que se usará el sistema *(ver figura 2)*. De esta manera, al momento de realizar un análisis, se podrá identificar fácilmente qué deportistas manifiestan un comportamiento que se recomienda al equipo médico analizar.

Una vez registrados los deportistas en el sistema, el usuario de la aplicación podrá ejecutar la función principal de la misma, realizar un análisis de la actividad deportiva. Durante este proceso se exponen en una pantalla los jugadores seleccionados (aquellos que forman parte de la actividad física en curso) y se destacan aquellos que exhiben un comportamiento anómalo en su presión plantar *(ver figura 3)*. El estado de los deportistas se determina en el módulo de procesamiento de datos en la nube y es emitido a la interfaz gráfica.

Al incorporar a un deportista a un proceso de análisis, primero se lo selecciona del listado de deportistas disponibles y, posteriormente, se debe establecer una conexión Bluetooth temporal con el dispositivo que portará durante la sesión, con el fin de obtener su código de serie interno. Una vez validado el registro de la vinculación, el sistema comenzará a mostrar los resultados de las lecturas (procesadas) en un gráfico de series temporales.

Finalizada la sesión de análisis, toda su información puede ser nuevamente accedida desde la sección de “Historial de Análisis” de la aplicación *(ver figura 4)*.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se puede observar un diagrama que expone de forma simplificada los flujos mencionados en la *figura 6.*

**Resultados**

En esta sección se presentan los hallazgos obtenidos para cumplir con el objetivo de detectar, en tiempo real, patrones de marcha compatibles con signos de lesión. Este análisis se realizó respetando las restricciones de baja latencia, explicabilidad clínica y protección de datos. Con estos objetivos en mente, se desarrolló un modelo de machine learning para la detección en tiempo real de patrones de marcha compatibles con signos de lesión, a partir de un mapa de calor de la pisada a lo largo del tiempo y obtenido de manera transparente al usuario, para posteriormente alertar al cuerpo médico sobre la detección de los mismos.

El modelo se apoyó en una arquitectura de procesamiento en la nube que provee capacidad de escalamiento y garantiza el rendimiento requerido para brindar respuestas en tiempo real. Dicha arquitectura consume los datos generados por un dispositivo IoT que cumple con los requisitos de seguridad de la información y tolera las condiciones físico ambientales del entorno. Finalmente, una aplicación web ofrece una interfaz clara e intuitiva para la gestión de deportistas y sesiones de análisis, y para la visualización de hallazgos del modelo en forma de alertas.

**Limitaciones**

Se reconocen ciertas limitaciones del trabajo actual. El dispositivo IoT presenta limitaciones en cuanto a sus dimensiones y, por lo tanto, a su utilización en competencias teniendo en cuenta los requerimientos impuestos por las autoridades competentes y la necesidad de una habilitación por parte de las mismas.

**Trabajos Futuros**

En primera instancia, se plantea la reducción del volumen del hardware para que pueda ser utilizado en competencias, así como la exploración de nuevas tecnologías y protocolos de comunicación inalámbrica que mejoren el rendimiento general del sistema.

Por otro lado, se proyecta una oportunidad de expansión de contexto de uso del sistema, que abarque todo tipo de deportes que impliquen la locomoción de una persona, ya sean profesionales o no. Así como también potenciales aplicaciones de monitoreo médico no excluyentes a la medicina deportiva.

**Conclusión**

El propósito de este trabajo era desarrollar un sistema que logre detectar y notificar patrones compatibles con signos de lesión en tiempo real y que el mismo sea aplicable a entornos de entrenamientos deportivos. La solución se compone de la integración de plantillas con sensores piezorresistivos, transmisión inalámbrica y procesamiento en la nube mediante técnicas de aprendizaje automático.

Este desarrollo logra potenciar al equipo médico en la toma de decisiones, contribuyendo a una detección temprana de lesiones y optimizando el rendimiento deportivo. FootData representa una evolución del mundo deportivo profesional argentino hacia la toma de decisiones basadas en datos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Agradecimientos**

Se agradece especialmente a la Mag. Ing. Gabriela Salem, Lic. Silvia Balduzzi, y Lic. Valeria Elena Ferrari Gallo, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por su orientación, apoyo y valiosas sugerencias durante el desarrollo del presente trabajo.

Se agradece a la Kga. Mónica Jorge, por su asesoramiento en los aspectos del presente trabajo relacionados a la medicina.

Se agradece a José Klehr, por su asesoramiento en los aspectos del presente trabajo relacionados a la electrónica.

**Referencias**

[1] Fernando Martínez-Martí, María Sofía Martínez-García, Santiago G. García-Díaz, Javier García-Jiménez, Alberto J. Palma, Miguel A. Carvajal. 2014. '*Embedded sensor insole for wireless measurement of gait parameters*'. Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine. Volumen: 37, Número: 1. 2014. 37: 25-35.
http://dx.doi.org/10.1007/s13246-013-0236-7

[2] Zhang, Lingjia (2023). *Smart Foot Orthotics for Gait Analysis*. Master's Thesis, School of Mechanical and Mining Engineering, The University of Queensland.
https://doi.org/10.14264/bf6a33d

[3] Chatzaki, C., Skaramagkas, V., Tachos, N., Christodoulakis, G., Maniadi, E., Kefalopoulou, Z., Fotiadis, D. I., & Tsiknakis, M. (2021). *The Smart-Insole Dataset: Gait Analysis Using Wearable Sensors with a Focus on Elderly and Parkinson's Patients*. *Sensors*, 21(8), 2821.
https://doi.org/10.3390/s21082821

[4] Agrawal, D. K., Jongpinit, W., Pojprapai, S., Usaha, W., Wattanapan, P., Tangkanjanavelukul, P., & Vitoonpong, T. (2024). *Smart Insole-Based Plantar Pressure Analysis for Healthy and Diabetic Feet Classification: Statistical vs. Machine Learning Approaches*. *Technologies, 12*(11), 231.
https://doi.org/10.3390/technologies12110231

[5] Calliess, T., Bocklage, R., Karkosch, R., Marschollek, M., Windhagen, H., & Schulze, M. (2014). *Clinical Evaluation of a Mobile Sensor-Based Gait Analysis Method for Outcome Measurement after Knee Arthroplasty*. *Sensors*, 14(9), 15953-15964.
https://doi.org/10.3390/s140915953

[6] Lee, J. B., Mellifont, R. B., Burkett, B. J., & James, D. A. (2013). *Detection of Illegal Race Walking: A Tool to Assist Coaching and Judging*. *Sensors, 13*(12), 16065-16074
https://doi.org/10.3390/s131216065

[7] Subramaniam, S., Majumder, S., Faisal, A. I., & Deen, M. J. (2022). *Insole-Based Systems for Health Monitoring: Current Solutions and Research Challenges. Sensors*, 22(2), 438.
https://doi.org/10.3390/s22020438

[8] Santos, V. M., Gomes, B. B., Neto, M. A., & Amaro, A. M. (2024). *A Systematic Review of Insole Sensor Technology: Recent Studies and Future Directions. Applied Sciences*, 14(14), 6085.
https://doi.org/10.3390/app14146085

[9] Almuteb, I., Hua, R., & Wang, Y. (2022). *Smart insoles review (2008-2021): Applications, potentials, and future. Smart Health*, 25, 100301.
https://doi.org/10.1016/j.smhl.2022.100301

[10] Crea, S., Donati, M., De Rossi, S. M. M., Oddo, C. M., & Vitiello, N. (2014). *A Wireless Flexible Sensorized Insole for Gait Analysis. Sensors*, 14(1), 1073-1093.
https://doi.org/10.3390/s140101073

[11] Dindorf, C., Dully, J., Simon, S., Perchthaler, D., Becker, S., Ehmann, H., Diers, C., Garth, C., & Fröhlich, M. (2025). *Toward automated plantar pressure analysis: Machine learning-based segmentation and key point detection across multicenter data. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13, 1579072.
https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1579072

[12] L. J. Elstub, L. M. Grohowski, D. N. Wolf , M. K. Owen, B. Noehren, K. E. Zelik (2022). *Effect of pressure insole sampling frequency on insole-measured peak force accuracy during running*. Department of Mechanical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN, United States.
https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111387

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[13] Qi Wang et al. *A wireless, self-powered smart insole for gait monitoring and recognition via nonlinear synergistic pressure sensing. Sci. Adv.* 11, eadu1598(2025).
https://doi.org/10.1126/sciadv.adu1598

[14] Mahmud, T., Kayastha, R., Kisi, K., Ngu, A. H., & Alamgeer, S. (2025). *Evaluating the Effectiveness of Plantar Pressure Sensors for Fall Detection in Sloped Surfaces. Electronics*, 14(15), 3003.
https://doi.org/10.3390/electronics14153003

**Datos de Contacto**

*Agustín Azariel Bazzi. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*abazzi@frba.utn.edu.ar*

*Alejandro Jesus Deheza Garvizú. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*dehezagarvizu@frba.utn.edu.ar*

*Ignacio Fernández. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*ifernndez@frba.utn.edu.ar*

*Gonzalo Rodríguez Pardo. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*grodriguezpardo@frba.utn.edu.ar*

*Lucas Leonel Schneider. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires.*
*lschneider@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Anexo

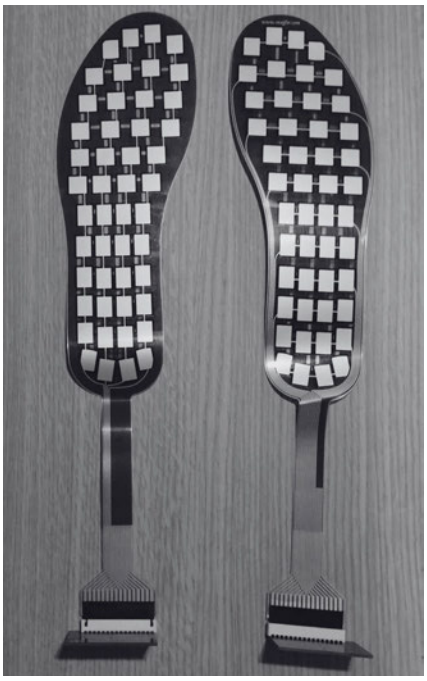


*Figura 1: Plantillas con sensores piezorresistivos*




*Figura 2: Interfaz de Jugadores*

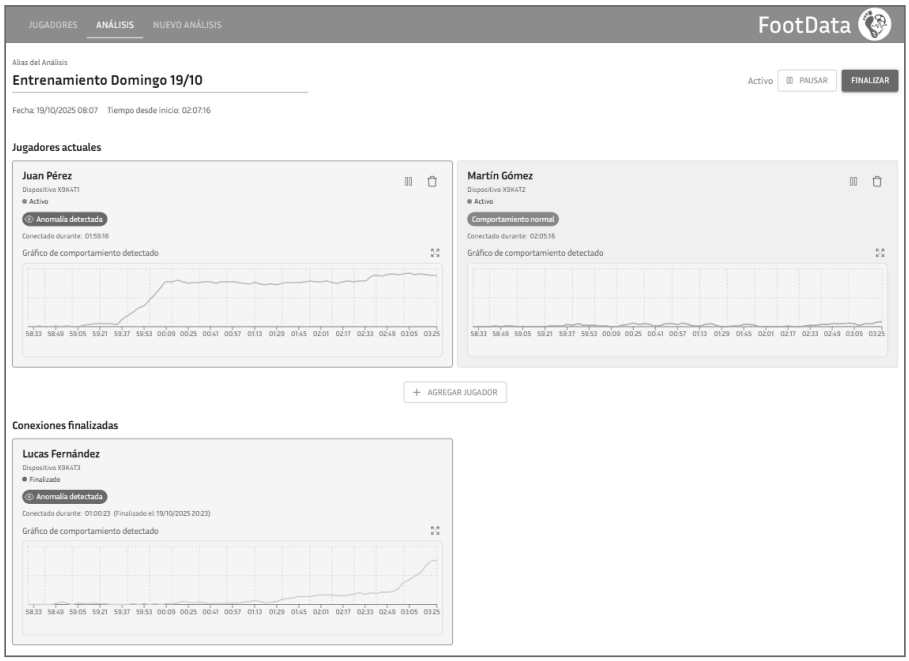



*Figura 3: Interfaz de Análisis*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 4: Interfaz de Historial de Análisis*

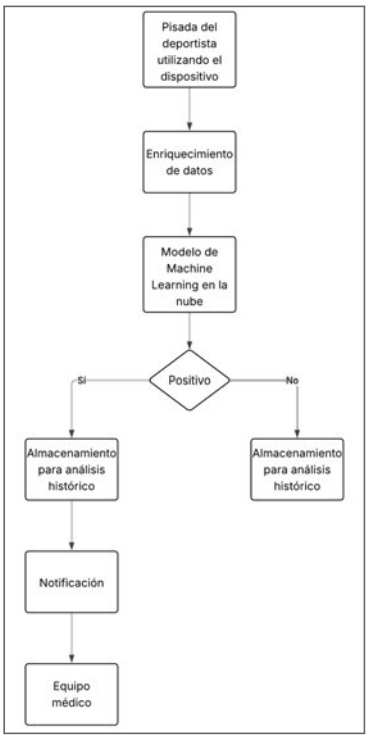



*Figura 5: Flujo de Funcionamiento interno*

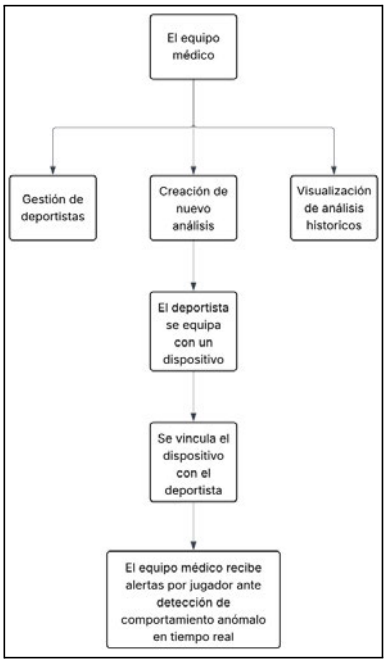



*Figura 6: Flujo de Equipo Médico*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Indie

## *Sistema de coordinación de eventos entre artistas y establecimientos*

**Guiñazu, Tomás - Jadur, Dolores - Linares, Agustina - Ortiz, Lucas**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza***

**Resumen**

*Este artículo presenta un proyecto final desarrollado en el marco de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, centrado en el diseño e implementación de una plataforma web orientada a facilitar la conexión y el descubrimiento de artistas, eventos y establecimientos. El objetivo principal de la plataforma es doble: por un lado, permitir que artistas y organizadores de eventos se conecten y colaboren de manera más eficiente; por otro, ofrecer a los usuarios una forma sencilla de descubrir nuevos artistas, eventos y espacios culturales dentro de la escena musical local.*

*La plataforma busca promover la cultura local mediante una mayor visibilidad e interacción entre artistas y lugares, al tiempo que amplía las posibilidades de los usuarios para acceder a propuestas musicales en vivo y eventos relacionados. Al facilitar la vinculación entre artistas y organizadores, y acercar la oferta cultural al público general, el sistema contribuye al desarrollo del ecosistema musical local. Funciona tanto como una herramienta de networking profesional como un espacio de descubrimiento para usuarios en general.*

*El sistema fue desarrollado utilizando Angular [1] con TypeScript [2] para el front-end, y Java [3] con Spring Boot [4] para el back-end. La gestión del proyecto se realizó con Trello [5], el modelado del sistema con Enterprise Architect [6], y las tareas de desarrollo y prueba se llevaron a cabo en IntelliJ IDEA [7] y Visual Studio Code [8].*

**Abstract**

*This article presents a final project developed within the Information Systems Engineering degree program, centered on the design and implementation of a web-based platform that supports the discovery and connection of local artists, events, and venues. The core aim of the platform is twofold: to enable artists and event organizers to connect and collaborate more efficiently, and to allow users to discover new artists, events, and cultural spaces within the local music scene.*

*The platform promotes local culture through increased visibility and interaction between artists and venues, while also offering users broader opportunities to engage with live music and related events. By facilitating connections between artists and event organizers and making cultural offerings more accessible to the public, the platform contributes to the development of the local music ecosystem. It serves both as a networking tool for professionals and as a discovery hub for general users.*

*The system was developed using Angular [1] with TypeSript [2] for the front-end and Java [3] with Spring Boot [4] for the back-end. Project management was carried out with Trello [5], while Enterprise Architect [6] supported system design. IntelliJ IDEA [7] and Visual Studio Code [8] were used as development and testing environments.*

**Palabras Clave**

Ecosistema musical local, Eventos en vivo, Colaboraciones, Artistas independientes, Establecimientos.

## Introducción

A lo largo y ancho de la Argentina han surgido numerosos artistas independientes con gran talento y ganas de mostrar su música, algo que pueden lograr a través de diversas plataformas digitales. Sin embargo, surge un obstáculo a la hora de organizar y promocionar sus presentaciones en vivo. Cuando los músicos publican fechas en sus redes sociales, la información solo llega a quienes ya los siguen, limitando su alcance y reduciendo las posibilidades de atraer nuevo público. Además, la búsqueda de espacios que cuenten con el lugar y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



disposición para ofrecer shows suele ser un proceso tedioso, que requiere contactar uno por uno, coordinar disponibilidad y negociar condiciones, sin contar con una herramienta que centralice esta información y facilite el contacto.

Esta necesidad cobra mayor relevancia si se considera que, según el Observatorio de la Música Argentina (INAMU), más del 95 % de los músicos en el país son independientes y apenas un 9 % cuenta con un manager que les ayude en la gestión de sus presentaciones [22]. A su vez, más del 70% declara tener dificultades para encontrar espacios para tocar, lo que evidencia una brecha clara entre la cantidad de artistas activos y las oportunidades reales de presentarse en vivo [22].

En cuanto a la producción artística, la escena emergente ha mostrado un dinamismo notable: como se muestra en la figura 1, solo en 2024 se publicaron 276 discos de artistas emergentes, y en el primer semestre de 2025 ya se han lanzado 137 producciones nuevas. Esto significa más de 400 lanzamientos en apenas 18 meses, lo que confirma que existe una abundante oferta musical que requiere canales efectivos de difusión y conexión con el público [23].

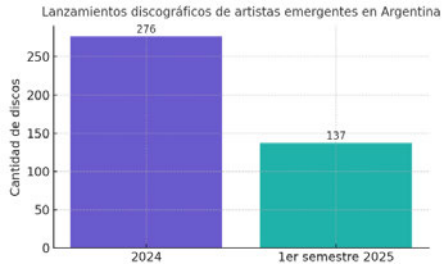



Figura 1: Publicación discográfica en el último año y medio.

Ante esta problemática, INDIE busca facilitar la conexión entre establecimientos y artistas emergentes, brindando una solución para la organización y difusión de eventos en vivo. El sistema permitirá a músicos, bandas y otros artistas encontrar lugares donde presentarse, aumentando su visibilidad y oportunidades de actuación. Esto será posible gracias a que INDIE permitirá a artistas y locales publicar eventos, de manera que su público pueda conocerlos y asistir. Adicionalmente, los establecimientos contarán con herramientas para gestionar sus eventos y disponibilidad, atrayendo más propuestas artísticas y público. Finalmente, se ofrecerá a los usuarios una forma sencilla de descubrir espectáculos en vivo, seguir a sus artistas o espacios favoritos y recibir recomendaciones personalizadas.

Actualmente, las plataformas de promoción y gestión de eventos musicales existentes están fuertemente orientadas a artistas de renombre o medianamente consolidados, que cuentan con una base de seguidores amplia y estable. Estas herramientas priorizan conciertos y giras de mayor escala, dejando de lado a músicos emergentes que aún construyen su audiencia y, por lo tanto, no resultan tan atractivos para la lógica de esas plataformas. A esto se suma que muchas ni siquiera cuentan con presencia significativa o adaptación para el mercado argentino, dificultando su uso por parte de artistas locales. Como consecuencia, quienes recién comienzan o forman parte de escenas alternativas quedan sin un canal eficaz para difundir sus shows y contactar lugares, reforzando la necesidad de una herramienta pensada específicamente para este contexto.

**Planificación**

Para el desarrollo de INDIE, se comenzó con una ardua investigación de la problemática y otros sistemas similares, con la que se pudo conocer mejor el entorno en el cuál nos incursionamos con nuestro proyecto y cómo prepararnos para afrontar los diversos desafíos encontrados.

Esta investigación tuvo como objetivo examinar cómo han sido resueltos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



problemas similares, identificar limitaciones persistentes y reconocer oportunidades de mejora que puedan ser abordadas en la solución propuesta.

Las aplicaciones relevadas fueron Gigtown [18], Sonicbids [19], Bandsintown [20] y Songkick [21]. A continuación, se detallan las principales problemáticas y necesidades identificadas a partir de su análisis funcional y el uso de su aplicación:

- Los sistemas no brindan una vista clara de los artistas en tendencia ni de los conciertos más relevantes a nivel regional o nacional.
- Los sistemas priorizan la visibilidad de artistas reconocidos, lo que dificulta que músicos independientes o emergentes se destaquen en la plataforma.
- Falta la opción de aplicar a eventos en la mayoría de los sistemas, o está limitada a usuarios con suscripciones pagas.
- La funcionalidad de reseñas y calificaciones casi no está presente.
- Algunas plataformas no permiten la búsqueda de establecimientos, o lo hacen con filtros muy limitados.
- La venta de entradas no está contemplada en la mayoría de los casos, esto obliga a recurrir a plataformas externas.
- La promoción de eventos y artistas suele estar restringida o limitada a publicaciones básicas.
- Pocas plataformas ofrecen un calendario de disponibilidad personalizable o bien integrado.
- No todas las plataformas cuentan con mensajería interna o facilitan el contacto directo entre usuarios.
- La gestión de perfiles es limitada para organizadores o promotores, lo que restringe su participación activa.
- La integración con otras plataformas musicales o de mapas no siempre está disponible, lo que reduce la visibilidad de los eventos.
- Algunos sistemas tienen un alcance pequeño limitándose a algún género musical o una región reducida

Los puntos identificados durante el relevamiento funcional fueron considerados en el diseño del sistema, priorizando aquellos que abordan las principales necesidades de artistas, establecimientos y usuarios. Algunas características adicionales, como la integración con plataformas externas de venta de entradas, se proyectan para futuras versiones con el fin de mantener el enfoque en una primera versión funcional y efectiva.

Durante la etapa de diseño se adoptó un enfoque iterativo e incremental que permitió avanzar de forma progresiva en la construcción del sistema. Este proceso incluyó actividades clave como la definición de los objetivos y el alcance del sistema, el desarrollo de un modelo funcional, el diseño de las interfaces gráficas, la generación de reportes y la elaboración del modelo de datos. Para facilitar el trabajo y mejorar la organización del proyecto, la aplicación fue estructurada en módulos funcionales, lo que permitió separar la lógica y la información por módulo, facilitando no solo el diseño y desarrollo, si no también la comprensión del sistema.

A continuación, se describe cada uno con mayor detalle.

**Módulo de Usuario**

Permite crear y editar perfiles, gestionar contenido y relaciones entre usuarios. Incluye funciones para seguir, bloquear y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



buscar perfiles. La figura 2 muestra parte de la pantalla del perfil de usuario.

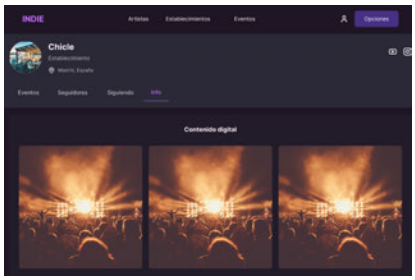



Figura 2: Perfil de Usuario

**Módulo de Eventos**

Ofrece la posibilidad de que artistas y establecimientos publiquen y gestionen sus eventos, invitando a colaborar a otros usuarios para que participen del mismo. También cuenta con la opción de marcar los eventos que le interesan al usuario para poder recibir notificaciones sobre el mismo y poder encontrarlo más fácil. La figura 3 es un ejemplo de la tarjeta de evento.




Figura 3: Tarjeta de Evento

**Módulo de Calendario**

Ofrece la posibilidad de que los usuarios tengan un calendario en donde se muestra su disponibilidad de fechas y los eventos en los que participará. Con esto se busca una mayor facilidad para conocer los próximos eventos del usuario, siendo una forma clara y rápida de ver los compromisos que tendrá en las próximas fechas.

**Módulo de Comentarios**

Permite a los usuarios realizar comentarios en los perfiles de artistas y establecimientos, pudiendo también eliminar los realizados por uno mismo, y denunciar a aquellos que sean inapropiados. El perfil de estos usuarios cuenta con una sección en donde se muestran todos los comentarios y es una forma ideal de conocer qué opina la comunidad sobre este.

**Módulo de Notificaciones**

El sistema incluye el envío de notificaciones a los usuarios, en donde ellos pueden gestionarlas a su gusto. Entre las mismas, podemos mencionar algunos ejemplos como, el aviso cuando recibimos un comentario, cuando falta poco para un evento que nos interesa o cuando nos invitan a colaborar a un evento.

**Módulo de Recomendaciones**

Los usuarios cuentan con la posibilidad de descubrir usuarios y eventos. A través de la pantalla “Descubrir” (figura 4), se cuenta con la posibilidad de ver los usuarios top, ya sea artistas o establecimientos, para conocer la tendencia que se está dando en la aplicación, así como también sucede con los eventos que más le interesan al público.

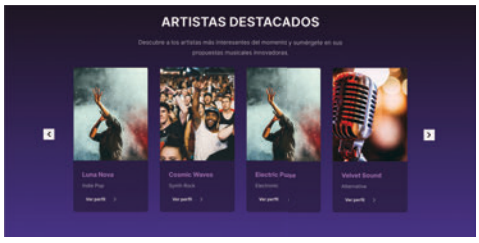



Figura 4: Artistas Recomendados

**Módulo de Mensajería**

El sistema incluye un sistema de mensajería facilitando la comunicación y organización de eventos entre artistas y establecimientos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Módulo de Reportes**

El sistema permite la visualización de distintas métricas para el seguimiento de la evolución tanto de una cuenta artista/establecimiento, como del sistema en sí.

**Módulo de Geolocalización**

Se ofrece la posibilidad de interactuar con un mapa en el perfil de los usuarios, para poder visualizar las distintas ubicaciones que tiene el mismo.

**Módulo de Backup y recuperación**

Se tendrán copias de seguridad de una instancia del sistema de manera tal que se pueda recuperar en un futuro, cuando sea necesario.

**Funcionalidades Principales**

El modelo de casos de uso se basa en los requisitos funcionales que se obtuvieron luego del relevamiento, esto se puede visualizar en la figura 5.

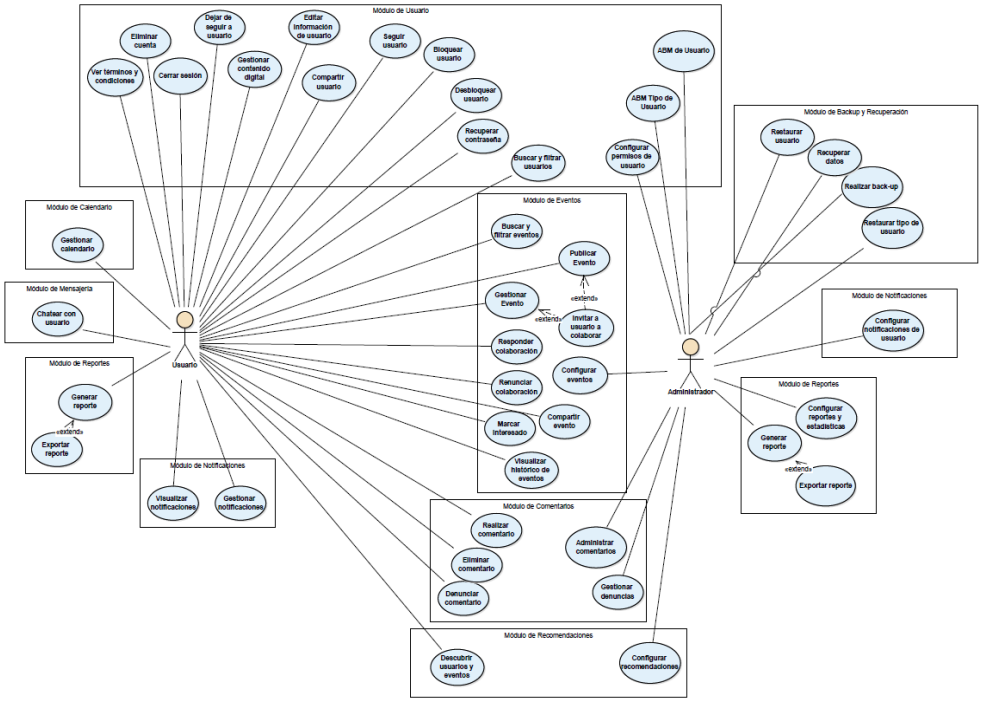



Figura 5: Modelo de Casos de Uso

**Modelo de Datos Simplificado**

Como modelo de datos, se eligió trabajar sobre un diagrama de clases de entidad, en donde cada clase del diagrama es una entidad del sistema y en ella se definen los atributos y relaciones con otras entidades.

A continuación se proporciona la imagen del mismo (figura 6), cabe aclarar que es una versión simplificada del diagrama original.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



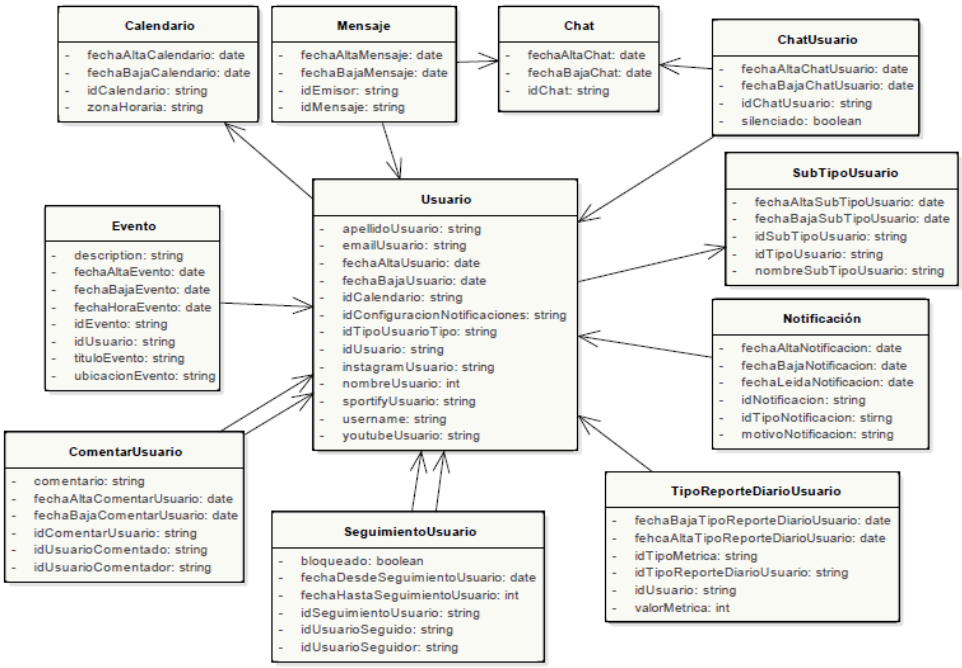



Figura 6: Modelo de Datos Simplificado

### Recursos y tecnología utilizada

Para llevar a cabo el proyecto, se hizo uso de cuatro computadoras personales con las que se contaba, así como de conexión constante a internet.

En cuanto a las diversas tecnologías implementadas, comenzamos mencionando la utilización de una base de datos relacional, un servidor a través de AWS y una aplicación web destinada tanto para los usuarios del sistema como para el administrador. La comunicación entre el frontend y el backend del sistema se realiza mediante una API RESTful, permitiendo la interacción a través de solicitudes HTTP estandarizadas (GET, POST, PUT, DELETE), lo que garantiza escalabilidad y mantenibilidad.

A continuación, se mencionan listadas las tecnologías utilizadas:

- *Angular [1] como framework para el front-end.*
- *TypeScript [2] como lenguaje para la lógica en el front-end.*
- *Java [3] como lenguaje usado en el back-end.*
- *Spring Boot [4] como simplificación del framework Spring para el back-end.*
- *Trello [5] para la gestión de las tareas del proyecto.*
- *Enterprise Architect [6] para el modelado del sistema.*
- *IntelliJ IDEA [7] junto con Visual Studio Code [8] como IDEs.*
- *Figma [9] para el modelado de las pantallas.*
- *Postman [10] para probar las conexiones con el back-end.*
- *JUnit [11] como framework de automatización de pruebas.*
- *Git [12] y GitHub [13] para el versionado del código.*
- *MySQL [14] como sistema de base de datos.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- *MySQL Workbench [15] como herramienta de gestión de la base de datos.*
- *Vercel [16] para el despliegue del front-end de la aplicación web.*
- *AWS [17] para el despliegue del back-end.*

**Trabajos Relacionados**

El sistema propuesto presenta un alto potencial de proyección, comenzando con su implementación en el mercado argentino para luego escalar gradualmente a otros países de América y, eventualmente, a mercados de otros continentes. La arquitectura modular y la naturaleza escalable del proyecto permiten adaptarlo a distintas realidades y casos de uso, conservando su esencia de conectar artistas con establecimientos y público. Esta capacidad de expansión abre la posibilidad de posicionar la herramienta como una solución global para la promoción y gestión de eventos en vivo.

Asimismo, este trabajo se relaciona con otros sistemas previamente analizados, los cuales ofrecen funciones similares de conexión entre artistas, público y establecimientos, pero que presentan limitaciones en su cobertura geográfica, su usabilidad o su enfoque en artistas emergentes. La propuesta desarrollada retoma las fortalezas de estas soluciones, incorporando mejoras específicas para el mercado argentino y contemplando futuras integraciones con plataformas de ticketing, redes sociales y servicios de geolocalización, lo que facilitará su crecimiento y consolidación en un entorno cada vez más digitalizado.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Los objetivos de Indie se cumplen de acuerdo a los alcances definidos, consolidándose como una plataforma prometedora para conectar artistas, eventos y lugares dentro de la escena musical local. La aplicación se orienta tanto a facilitar la organización de eventos mediante la interacción entre artistas y establecimientos, como a ofrecer a los usuarios una experiencia enriquecedora para descubrir nuevas propuestas culturales en su entorno.

Con su implementación, se abre un abanico de oportunidades para fortalecer el ecosistema musical local, visibilizando a los actores independientes y promoviendo la participación activa del público. Indie apunta a generar una red dinámica de vínculos profesionales y sociales que potencien el desarrollo cultural desde lo digital.

Desde el punto de vista técnico, el sistema se apoya en una arquitectura sólida que garantiza escalabilidad y estabilidad. La interfaz fue desarrollada con Angular en el frontend, mientras que el backend fue implementado en Java utilizando Spring Boot, conformando una base tecnológica robusta y moderna. El uso de herramientas de diseño como Enterprise Architect permitió modelar y documentar adecuadamente la solución.

La gestión del proyecto combinó metodologías tradicionales y ágiles, lo cual facilitó tanto una planificación detallada como una respuesta eficiente ante cambios y desafíos. Herramientas como Trello fueron clave para la asignación de tareas y el seguimiento del progreso durante todo el proceso de desarrollo. Asimismo, se utilizaron IntelliJ IDEA y Visual Studio Code como entornos principales para el desarrollo y la prueba del sistema.

Cabe destacar que Indie es una plataforma web con diseño responsivo, que permite su uso fluido tanto en dispositivos móviles como en escritorio. Las tecnologías seleccionadas y las herramientas empleadas contribuyeron a un desarrollo eficiente y un producto final escalable, estable y con una experiencia de usuario moderna.

Respecto a la implementación de mejoras futuras, se analiza la posibilidad de ofrecer la venta de entradas a eventos dentro de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



plataforma. Esto incluiría el procesamiento del pago y la administración de cupos.

Se incorporará la publicidad paga, permitiendo a los usuarios promover sus publicaciones para alcanzar un mayor público.

Finalmente, se añadirán funciones de traducción de idiomas a las publicaciones y opciones de accesibilidad.

**Referencias**

[1] Angular. (s.f.). *Angular: One framework. Mobile & desktop*. Recuperado de https://angular.io/

[2] TypeScript. (s.f.). *TypeScript: JavaScript with syntax for types.* Recuperado de https://www.typescriptlang.org/

[3] Java. (s.f.). *What is Java technology and why do I need it?* Recuperado de https://www.java.com/en/download/help/whatis_java.html

[4] Spring. (s.f.). *Spring Framework*. Recuperado de https://spring.io/

[5] Trello. (s.f.). *Trello: Herramienta de gestión de proyectos*. Recuperado de https://trello.com/

[6] Enterprise Architect. (s.f.). *Enterprise Architect - UML Design Tools and UML CASE tools*. Recuperado de https://sparxsystems.com/

[7] JetBrains. (s.f.). *IntelliJ IDEA: Capable and Ergonomic IDE for JVM*. Recuperado de https://www.jetbrains.com/idea/

[8] Visual Studio Code. (s.f.). *Visual Studio Code – Code Editing. Redefined.* Recuperado de https://code.visualstudio.com/

[9] Figma. (s.f.). *Figma: The Collaborative Interface Design Tool*. Recuperado de https://www.figma.com/

[10] Postman. (s.f.). *Postman API Platform: Build, Test, and Document APIs Faster*. Recuperado de https://www.postman.com/

[11] JUnit. (s.f.). *JUnit 5: Testing framework for Java*. Recuperado de https://junit.org/junit5/

[12] Git. (s.f.). *Git: Distributed version control system*. Recuperado de https://git-scm.com/

[13] GitHub. (s.f.). *GitHub: Where the world builds software*. Recuperado de https://github.com/

[14] MySQL. (s.f.). *MySQL: The world's most popular open source database*. Recuperado de https://www.mysql.com/

[15] MySQL Workbench. (s.f.). *MySQL Workbench: Visual database design tool*. Recuperado de https://www.mysql.com/products/workbench/

[16] Vercel. (s.f.). *Vercel: Develop. Preview. Ship.* Recuperado de https://vercel.com/

[17] Amazon Web Services. (s.f.). *AWS: Cloud computing services*. Recuperado de https://aws.amazon.com/

[18] Gigtown. *San Diego's Live Music Network*. Consultado el 1 de Abril de 2025. Disponible en: https://www.gigtown.com/

[19] Sonicbids. *Book Gigs, Find Bands & Musicians, Create an EPK*. Consultado el 3 de Abril de 2025. Disponible en: https://www.sonicbids.com/

[20] Bandsintown. *Live Music, Concert Tickets and Tour Dates Near You*. Consultado el 8 de Abril de 2025. Disponible en: https://www.bandsintown.com/ES

[21] Songkick. *Concerts, Tour Dates & Tickets*. Consultado el 12 de Abril de 2025. Disponible en: https://www.songkick.com/es

[22] Instituto Nacional de la Música (INAMU). (2022). *Segundo informe del Observatorio de la Música Argentina del INAMU* [PDF]. Consultado el 8 de agosto. Disponible en: https://www.inamu.musica.ar/pdf/Observatorio/Segundo%20Informe%20Observatorio%20INAMU.pdf

[23] 421. *Nuevos discos argentinos 2024: la música que escuchan pocos.* Consultado el 9 de Agosto. Disponible en: https://www.cuatroveintiuno.com/nuevos-discos-argentinos-2024

**Datos de contacto:**

*Lucas Ortiz. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. Elpidio Gonzalez 4220, Guaymallén, 5521, Mendoza.*
*proyectoindiesistemas@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Vinza - Plataforma de eventos vitivinícolas

Garcia, Zacarias - Guerreiro, Emmanuel - Izuel, Tomas - Ozan, Giuliana - Passera, Nino

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza*

## Resumen

En el presente artículo se expone **VINZA**, un proyecto desarrollado como trabajo final de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. La solución consistió en una aplicación móvil que permite a los usuarios consultar, filtrar y reservar experiencias dentro de un amplio catálogo de oferta vitivinícola provista por distintas bodegas.

Dicha oferta es gestionada por las bodegas a través de un portal web, desde el cual administran su información, eventos, reservas y usuarios. Asimismo, el personal operativo de VINZA dispone de una herramienta de control interno mediante otro portal web, donde es posible gestionar roles, validar bodegas y realizar tareas administrativas.

La plataforma logró centralizar la oferta enoturística, antes dispersa y de difícil acceso digital, facilitando al consumidor final el descubrimiento de eventos y experiencias relacionadas con el mundo del vino. Además, incorporó un sistema de puntuaciones de usuarios y la posibilidad de crear recorridos personalizados, optimizados en tiempo y distancia, contemplando la ubicación geográfica de las bodegas.

El desarrollo se llevó a cabo utilizando React para las interfaces visuales, Next.js para las plataformas web y Expo para la aplicación móvil. El backend se implementó con Express sobre Node.js y la base de datos PostgreSQL. Para el guiado de rutas se integraron las herramientas de Google Maps. El despliegue se realizó mediante AWS para el backend y la base de datos, Vercel para el frontend, y las respectivas tiendas de aplicaciones (App Store y Play Store) para la distribución móvil.

**Abstract**

This article presents **VINZA**, a digital platform developed as the final project of the Information Systems Engineering degree. The solution consisted of a mobile application that enables users to explore, filter, and book experiences from a wide catalog of wine tourism activities provided by multiple wineries.

The wineries managed their offerings through a dedicated web portal, which allowed them to administer information, events, reservations, and users. Additionally, VINZA provided an internal administration tool for operational staff to manage roles, validate wineries, and perform administrative tasks.

The platform successfully centralized the regional wine tourism offer, previously fragmented and with limited online visibility, while enhancing the user experience by incorporating rating systems and enabling the creation of personalized routes optimized in time and distance.

The system was developed with React for the user interfaces, Next.js for the web platforms, and Expo for the mobile application. The backend was built with Express on Node.js and PostgreSQL, while Google Maps tools were integrated for route guidance. Deployment was carried out using AWS for backend and database services, Vercel for the frontend, and the App Store and Play Store for mobile distribution.

**Palabras clave**

Eventos en bodegas, planificación de recorridos enoturísticos, optimización de reservas, gestión digital de bodegas, centralización de la oferta enoturística

## Introducción

El turismo del vino en Mendoza atraviesa un escenario de crecimiento sostenido, impulsado por la riqueza de sus bodegas y la diversidad de experiencias que ofrecen. Sin embargo, este desarrollo se enfrenta a una problemática recurrente: la fragmentación de la información y la ausencia de una plataforma digital unificada dificultan que turistas y visitantes accedan, comparen y gestionen eficazmente las propuestas disponibles.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 1: Tendencia de búsquedas: “Bodegas en Mendoza” vs. “Bodegas en Argentina”.

La importancia del sector enoturístico queda reflejada en el interés creciente por las bodegas mendocinas. Tal como se observa en la *Figura 1: Tendencia de Búsquedas: “Bodegas en Mendoza” vs “Bodegas en Argentina”*, las búsquedas de “Bodegas en Mendoza” superan ampliamente a las de “Bodegas en Argentina” en los últimos cinco años, evidenciando la relevancia de la provincia como epicentro del enoturismo nacional. A su vez, el turismo en Mendoza mantiene una tendencia de interés constante en comparación con el turismo a nivel país (*Figura 2*), lo que reafirma su posicionamiento como destino estratégico dentro de Argentina.




Figura 2: Tendencia de búsquedas: “Turismo Mendoza” vs. “Turismo en Argentina”.

En términos concretos de visitas, el crecimiento del sector resulta aún más evidente. La *Tabla 1* muestra la evolución de la cantidad de visitantes a las bodegas de Mendoza entre 2018 y 2024, pasando de 1.148.694 a 1.590.567, lo que representa un incremento del 27,78%. Destacan particularmente el Valle de Uco, con un crecimiento del 51,45 %, y el Gran Este, con un aumento del 94,41 %, lo cual refleja la expansión territorial del enoturismo más allá de los polos tradicionales.

| Distribución y evolución de bodegas | | | |
|---|---|---|---|
| **Zona** | **Visitas 2018** | **Visitas 2024** | **Crecimiento %** |
| Luján de Cuyo | 319.398 | 495.014 | 35,48% |
| Valle de Uco | 158.272 | 326.022 | 51,45% |
| Maipú | 326.594 | 347.091 | 5,91% |
| Zona Sur | 332.438 | 370.860 | 10,36% |
| Gran Este | 1.652 | 29.578 | 94,41% |
| Zona Metropolitana | 10.340 | 22.002 | 53,00% |
| Total provincia | 1.148.694 | 1.590.567 | 27,78% |

Tabla 1: Distribución y evolución de visitas a bodegas en Mendoza (2018–2024).

Estos datos confirman tanto el atractivo de la provincia como la necesidad de optimizar la gestión de la oferta. La falta de un sistema unificado no solo limita el potencial de crecimiento, sino que también genera ineficiencias operativas en las bodegas y dificultades para los usuarios.

En este contexto, el proyecto **VINZA** diseñó e implementó una plataforma digital integral que centraliza la oferta enoturística de Mendoza, permitiendo la reserva de eventos y la planificación de recorridos personalizados entre bodegas. Esta solución resolvió el problema de la dispersión de información, optimizó la gestión operativa y mejoró significativamente la experiencia del usuario final.

La utilidad del sistema se manifiesta tanto en la simplificación del acceso y la gestión de experiencias para los visitantes, como en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la profesionalización y visibilidad de las bodegas. Asimismo, desde una perspectiva académica, **VINZA** aporta a la aplicación de sistemas de información y tecnologías innovadoras en el sector enoturístico.

El presente trabajo expone, en primer lugar, el análisis crítico de la problemática y las soluciones existentes, para luego describir las características y diseño del sistema VINZA, y finalmente presentar conclusiones y propuestas de mejora futura.

**Fundamentación y justificación**

La evolución del turismo enológico en Mendoza evidenció la necesidad de herramientas tecnológicas que acompañaran el crecimiento de la demanda y permitieran una gestión más eficiente y profesionalizada de la oferta. Frente a la heterogeneidad de experiencias propuestas por las bodegas y la dispersión de información en múltiples canales, la implementación de una plataforma integral como **VINZA** resultó fundamental para centralizar, optimizar y transparentar la interacción entre los distintos actores del ecosistema enoturístico.

La relevancia de **VINZA** radicó en su capacidad para transformar la experiencia del usuario final —turistas y visitantes—, brindando un acceso sencillo y unificado a la oferta de bodegas, así como herramientas avanzadas para la gestión de reservas, itinerarios personalizados y calificación de experiencias. Para las bodegas, la plataforma representó una oportunidad concreta de incrementar su visibilidad, profesionalizar su operación y acceder a información estratégica para la toma de decisiones, contribuyendo de manera directa al desarrollo regional.

**Soluciones existentes**

Diversas plataformas como *Eventbrite*, *Event Cube, Google Maps y Priority Wine Pass* han abordado parcialmente la gestión de eventos y experiencias en el sector enoturístico. Sin embargo, ninguna de ellas contempla integralmente las necesidades de las bodegas y visitantes en Mendoza. Esto podemos verlo en el caso de Eventbrite y Eventcube quienes permiten la organización de eventos, pero carecen de herramientas para la gestión específica de bodegas o la creación de recorridos personalizados. Google Maps facilita la localización, pero no integra reservas ni experiencias. Priority Wine Pass, aunque se orienta al turismo del vino, responde a un contexto diferente y no se adapta a la dinámica local.

Esta carencia de soluciones unificadas y ajustadas a la realidad regional fundamentó el desarrollo de **VINZA**, que integró gestión, reservas, recorridos y retroalimentación en un solo entorno.

**Metodología y enfoque de desarrollo**

El desarrollo de VINZA se estructuró a partir de una integración deliberada de enfoques tradicionales y metodologías ágiles, seleccionados en función de las distintas etapas y necesidades del proyecto. Inicialmente, se empleó un enfoque tradicional para la fase de relevamiento y análisis, con el objetivo de garantizar un entendimiento exhaustivo y documentado de los procesos, actores y requisitos propios del sector enoturístico mendocino. Esta etapa

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



involucró entrevistas, análisis comparativos con plataformas internacionales, identificación de problemáticas y definición detallada de los casos de uso, lo que permitió sentar bases sólidas para la construcción de una solución pertinente y alineada con las expectativas de los usuarios finales y de las bodegas.

Posteriormente, y una vez definido el marco funcional y los objetivos del sistema, se incorporaron prácticas de metodologías ágiles, particularmente en las etapas de diseño y desarrollo de software. El uso de ciclos iterativos e incrementales, junto con reuniones periódicas de seguimiento y revisión, posibilitó la validación temprana de prototipos y funcionalidades, facilitando la adaptación a cambios de requerimientos y asegurando una mayor alineación con las necesidades reales del sector. La colaboración activa entre los diferentes roles del equipo —desarrolladores, analistas, testers y representantes del negocio— permitió una construcción progresiva y flexible de la solución, maximizando la eficiencia del proceso y minimizando riesgos asociados a la implementación tecnológica.

A lo largo de todo el proceso, se mantuvo como eje transversal la incorporación de buenas prácticas provenientes tanto del ámbito académico como del profesional, privilegiando la calidad, la accesibilidad y la usabilidad del sistema.

**Estructura general del sistema**

El sistema VINZA se compone de una serie de módulos interrelacionados, diseñados para cubrir integralmente las necesidades operativas, comerciales y de experiencia de usuario en el contexto enoturístico. A continuación se detalla cada uno de los módulos principales, especificando sus objetivos, funcionalidades y aporte al funcionamiento global de la plataforma.

**Módulos que componen al sistema**

El sistema desarrollado está conformado por diversos módulos interrelacionados que permiten la gestión integral de usuarios, bodegas, eventos y reservas. A continuación, se describen sus principales funcionalidades.

***Módulo registro y login de usuarios.***

Este módulo habilita el acceso a la plataforma tanto para usuarios finales, mediante la aplicación móvil, como para bodegas a través de la interfaz web. Permite registrar una cuenta mediante correo electrónico y contraseña, validar la dirección de correo mediante un código de verificación y gestionar el restablecimiento de credenciales.

***Módulo de gestión de usuarios.***

Los usuarios internos de **Vinza** cuentan con este módulo para validar las bodegas previamente registradas en el sistema. La interfaz de este proceso puede observarse en la *Figura 3: Pantalla para validar bodegas,* donde se muestra la pantalla destinada a la validación de bodegas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



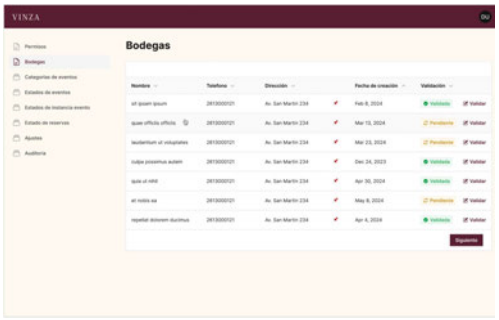



Figura 3: Pantalla para validar bodegas.

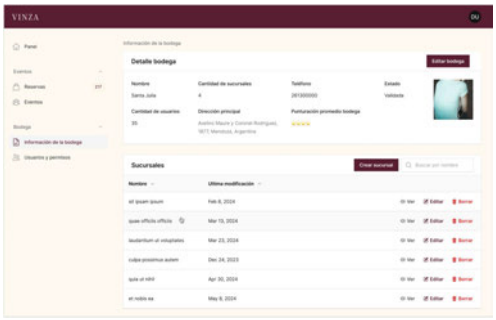



Figura 4: Pantalla de gestión de bodega.

***Módulo de configuración de parámetros.***

Este módulo, accesible desde el sistema de backoffice, permite a los usuarios internos administrar los parámetros generales del sistema. Entre sus principales funcionalidades se incluyen la gestión (listado, creación, edición y eliminación) de estados de reserva, instancias de eventos, eventos, recorridos y categorías de eventos. Además, contempla la posibilidad de visualizar y modificar permisos del sistema.

***Módulo de manejo de bodegas.***

Permite a cada bodega crear y administrar su perfil institucional dentro de la plataforma, incluyendo datos como nombre, descripción, imágenes, contacto y ubicación. Asimismo, se contempla la gestión de sucursales asociadas, permitiendo su creación, edición y eliminación. La *Figura 4: Pantalla de gestión de bodega,* ilustra la pantalla correspondiente a la gestión de bodegas.

***Módulo de manejo de usuarios internos de bodegas.***

Brinda a las bodegas la posibilidad de registrar y administrar usuarios pertenecientes a su organización, asignando distintos roles y permisos según las funciones que desempeñan (por ejemplo, administrador o personal operativo). También permite activar o pausar cuentas internas según las necesidades operativas.

***Módulo de manejo de eventos.***

Diseñado para la gestión de experiencias enoturísticas, este módulo posibilita la carga de degustaciones, recorridos o almuerzos, definiendo parámetros como fechas, horarios, precios, cupos y categorías. En la *Figura 5: Pantalla de gestión de eventos,* se observa un ejemplo de la pantalla de gestión de eventos, donde se incluyen filtros de búsqueda y el seguimiento de reservas asociadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



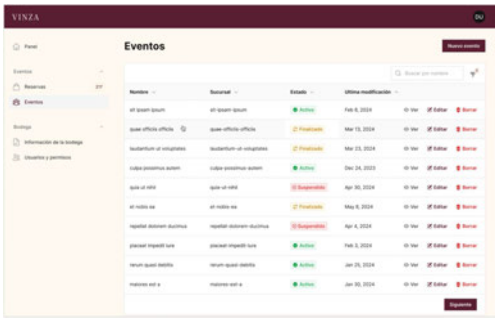



Figura 5: Pantalla de gestión de eventos.

***Módulo de reportes.***

Con el fin de facilitar la toma de decisiones, se desarrolló un módulo de reportes que presenta métricas clave como ingresos estimados, volumen de reservas mensuales y calificaciones promedio. También incluye un resumen de las últimas reservas realizadas. La interfaz de reportes se expone en la *Figura 6: Pantalla de reportes.*

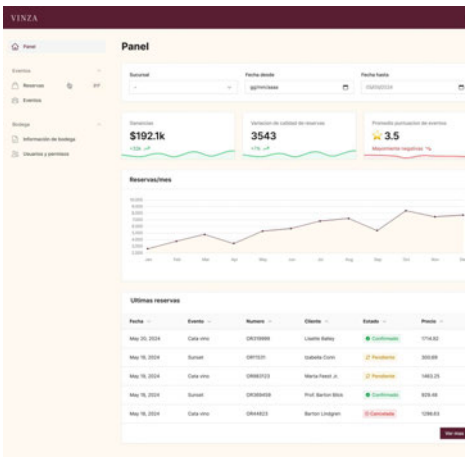



Figura 6: Pantalla de reportes.

***Módulo Auditoría.***

Disponible para usuarios administradores, este módulo permite acceder a un registro completo de acciones realizadas en el sistema. Cada entrada de auditoría detalla el tipo de operación, el usuario que la ejecutó, la fecha y el contenido actualizado del evento en formato estructurado.

***Módulo de visualización de bodegas usuarios finales.***

A través de una interfaz intuitiva, los usuarios pueden explorar la oferta enoturística disponible, accediendo a información de bodegas como descripción, ubicación, imágenes, calificaciones y eventos activos. En la *Figura 7: Pantalla de visualización ed bodegas,* se ejemplifica la pantalla de visualización de bodegas.




Figura 7: Pantalla de visualización de bodegas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Módulo de reservas***

Este módulo permite a los usuarios seleccionar un evento, definir fecha, hora y cantidad de asistentes, y confirmar su reserva validando la disponibilidad en tiempo real. El historial de operaciones queda registrado en el perfil del usuario. La interfaz correspondiente se aprecia en la *Figura 8*: *Pantalla de reserva de evento.*

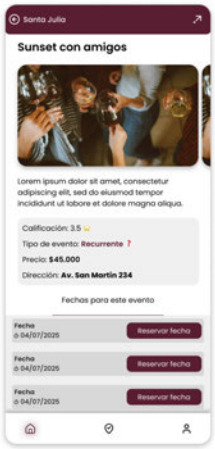



Figura 8: Pantalla de reserva de evento.

***Módulo de puntuación.***

Finalizada la asistencia a un evento, el sistema notifica al usuario para que realice una calificación. Dichas puntuaciones se utilizan para calcular un promedio general de cada evento y bodega. La *Figura 9: pantalla de puntuación evento,* muestra la pantalla destinada a la asignación de puntuaciones.

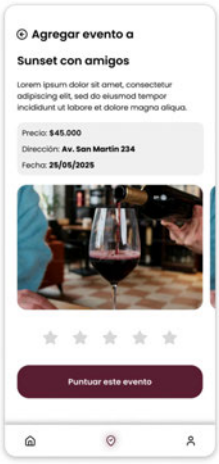



Figura 9: Pantalla de puntuación de evento.

***Módulo de generación de rutas***

Este módulo ofrece la posibilidad de planificar recorridos optimizados entre distintas bodegas y eventos, considerando ubicación geográfica y tiempos estimados. Las rutas pueden almacenarse y reutilizarse para futuras reservas. La *Figura 10: Pantalla de planificación de rutas,* presenta la pantalla de planificación de rutas.

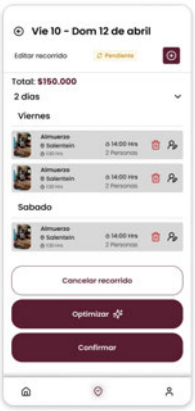



Figura 10: Pantalla de planificación de ruta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Módulo de notificaciones***

Gestiona el envío de notificaciones a los usuarios, principalmente para solicitar la calificación de eventos una vez asistidos, contribuyendo al sistema de retroalimentación de la plataforma.

**Modelo de datos**

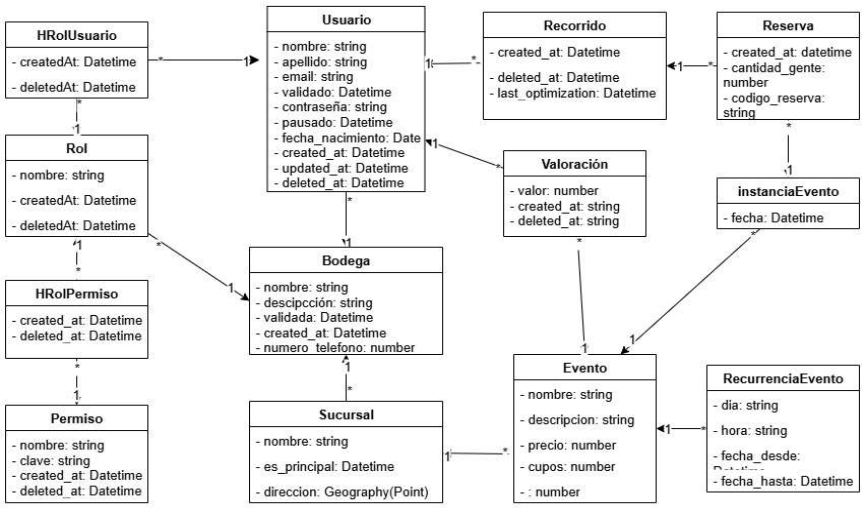



Figura 11: Diagrama de clases reducido VINZA

**Arquitectura del sistema**

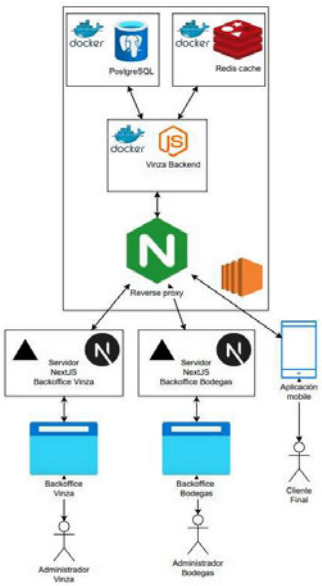



Figura 12: Arquitectura de VINZA

**Diseño funcional y técnico**

A partir del relevamiento y análisis de las principales soluciones existentes —tanto internacionales como locales—, el diseño de VINZA s e apoyó en las mejores prácticas detectadas en plataformas como Eventbrite, Eventcube, Priority Wine Pass y Google Maps, adaptando sus fortalezas a las necesidades concretas del sector enoturístico de Mendoza.

La arquitectura propuesta es monolítica dividida por módulos para la primera iteración del sistema, facilitando una velocidad de desarrollo, facilidad de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mantenimiento en el corto plazo y reducción de costo y errores de infraestructura. Este enfoque permite incorporar nuevas funcionalidades, reforzar la seguridad y garantizar la usabilidad de la solución de manera flexible, acompañando el crecimiento del sector y las demandas de los usuarios.

En el diseño funcional y técnico de la plataforma se priorizó la accesibilidad, la personalización y la experiencia de usuario. El objetivo es maximizar la adopción y satisfacción de todos los perfiles involucrados —visitantes, bodegas y administradores—, asegurando que la solución sea intuitiva y adaptable a diferentes dispositivos y contextos de uso.

**Desarrollo y solución tecnológico**

El sistema se desarrolló utilizando un conjunto de tecnologías modernas que garantizan alto rendimiento, escalabilidad y una experiencia de usuario consistente tanto en entornos web como móviles.

**Frontend**

Next.js[2] + React[1]: Next.js es un framework de desarrollo web basado en React que facilita la generación de páginas dinámicas y estáticas, optimizando el rendimiento y el SEO. React, por su parte, es una biblioteca para la construcción de interfaces de usuario interactivas y modulares.

**Aplicaciones Móviles**

Expo[3] + React: Expo es una plataforma que simplifica el desarrollo de aplicaciones móviles multiplataforma con React Native, permitiendo compilar para iOS y Android a partir de un único código base.

**Backend**

Node.js[4] + Express[5]: Node.js es un entorno de ejecución para JavaScript en el lado del servidor, diseñado para aplicaciones escalables y de alto rendimiento. Express es un framework minimalista que facilita la creación de APIs y servicios web robustos y flexibles.

**Base de Datos**

PostgreSQL[6]: Sistema de gestión de bases de datos relacional (RDBMS) reconocido por su fiabilidad, extensibilidad y soporte avanzado para consultas complejas.

**Conclusiones**

El desarrollo de **VINZA** constituyó un avance significativo en la digitalización y profesionalización del sector enoturístico mendocino. La plataforma, concebida a partir de un relevamiento detallado de necesidades y un análisis crítico de soluciones existentes, logró integrar de forma unificada la oferta de bodegas, la gestión de experiencias y la interacción con visitantes, resolviendo vacíos históricos en la organización del turismo del vino.

La adopción de una arquitectura modular, junto a tecnologías modernas como lo son NodeJs y el ecosistema de react, permitió crear un sistema escalable, seguro y adaptable a futuros cambios, garantizando la independencia y evolución de cada componente, sin necesidad de un equipo multitudinario.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Asimismo, la utilización de herramientas de versionado como Git[8] junto a repositorios remotos en Github[9], el uso de flujos de integración continua y herramientas que facilitan la gestión de proyectos como Clickup[7], permitieron un desarrollo ágil, manteniendo baja incidencia de errores y las mínimas iteraciones posibles para lograr un producto estable.

De esta manera, **VINZA** no solo optimizó la experiencia de los visitantes —facilitando la exploración y planificación de recorridos—, sino que también profesionalizó la operación de las bodegas mediante herramientas de administración y análisis que favorecen la toma de decisiones estratégicas. La plataforma sienta así las bases para una nueva etapa de innovación y desarrollo en el turismo del vino en la región

En cuanto a como se planea continuar el proyecto, se presentan distintas líneas de mejora y expansión, se destacan la integración de sistemas de pago online para optimizar la experiencia de reserva, el desarrollo de algoritmos de recomendación personalizados en base al perfil y comportamiento de los usuarios, y la incorporación de herramientas avanzadas de analítica para bodegas y administradores.

Asimismo, se proyecta ampliar la cobertura geográfica de la plataforma a otras regiones vitivinícolas, fomentar la interoperabilidad con sistemas turísticos y de transporte locales, e implementar funcionalidades de realidad aumentada y asistencia virtual para enriquecer la experiencia del usuario.

El desarrollo futuro de **VINZA** buscará consolidar la plataforma como referencia en la gestión enoturística digital, apostando por la innovación continua y la adaptación a los cambios del sector.

**Referencias**

[1] React. (s.f.). The library for web and native user interfaces. Recuperado de https://react.dev/

[2] NextJS (s.f.). The React Framework for the Web. Recuperado de https://nextjs.org/

[3] Expo (s.f.). Mobile React Framework. Recuperado de https://expo.dev/

[4] NodeJS (s.f.). JavaScript runtime environment. Recuperado de https://nodejs.org/es

[5] Express (s.f.). Fast, unopinionated, minimalist web framework. Recuperado de https://expressjs.com/

[6] PostgreSQL (s.f.). Open Source Relational Database. Recuperado de https://www.postgresql.org/

[7] Clickup (s.f). Task management, project tracking, and collaboration tools for teams. Recuperado de https://clickup.com/

[8] Git (s.f). Distributed version control system. Recuperado de https://git-scm.com/

[9] Github (s.f). Platform for hosting and collaborating on Git repositories. Recuperado de https://github.com/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Homefixing
# Sistema de gestión para trabajos de reparación del hogar

**Juan Manuel Valdivia, Leonardo Secotaro, Lucio Malgioglio y Martín Melonari**
***Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza***

***Resumen***
*En el presente artículo se expone el proyecto Homefixing para la materia Proyecto final de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información. La plataforma busca conectar personas, con problemas de reparación o instalación en sus hogares, y profesionales que puedan solucionar dichos problemas. Esto con el objetivo de que personas que no tienen conocimientos en reparaciones-instalaciones domésticas puedan encontrar a un trabajador confiable y capacitado de forma rápida y sencilla, beneficiando a ambas partes. Se buscó que la mayoría de funciones sean automáticas y/o intuitivas, para hacer que los usuarios se sientan cómodos utilizando el sistema. Se implementó un método de seguimiento de los trabajos en curso, para saber el estado de los mismos en todo momento. Además, la interfaz es simple y amigable, e incluso posee un chatbot para ayudar a los clientes con sus dudas, evitando que quienes tengan conflictos con este tipo de páginas web no logren encontrar un profesional. Para saber las necesidades de los futuros usuarios, se le preguntó a diferentes personas sobré cómo han lidiado con este tipo de problemas, tanto de forma oral como por medio de cuestionarios Homefixing se hizo usando las herramientas JavaScript, [1] Dbeaver, [2] MySQL, [3] Ruby on rails, [4] React, [5] TailwindCSS, [6] Git, [7] GitHub, [8] Postman, [9] Railway, [10] Whatsapp, [11] Discord, [12] Visual Studio Code, [13] Cypress, [14] Figma.*

**Abstract**
*This article presents the Homefixing project for the subject of "Proyecto Final" of the Information Systems Engineering degree. The platform seeks to connect individuals with repair or installation problems in their residences with professionals who can solve them. The goal is for people unfamiliar with home repairs and installations to find a reliable and skilled worker quickly and easily, benefiting both parties. Most functions were designed to be automatic and/or intuitive, making users feel comfortable using the system. A tracking method for ongoing work was implemented to ensure their status is known at all times. Furthermore, the interface is simple and user-friendly, and it even includes a chatbot to help customers with their questions, preventing those who encounter problems with these types of websites from being unable to find a professional. To understand the needs of future users, different people were asked about how they have dealt with these types of problems, both verbally and through questionnaires. Homefixing was done using the tools JavaScript, [1] Dbeaver, [2] MySQL, [3] Ruby on rails, [4] React, [5] TailwindCSS, [6] Git, [7] GitHub, [8] Postman, [9] Railway, [10] Whatsapp, [11] Discord, [12] Visual Studio Code, [13] Cypress, [14] Figma.*

**Palabras Clave**
Reparación hogareña, contratación de profesionales, facilidad de uso, mantenimiento del hogar, confianza entre usuarios.

## Introducción

La idea de hacer Homefixing surgió del problema que tienen muchas personas de manera relativamente seguida, que es reparar alguna parte del hogar, una pared por ejemplo, o algún elemento dentro del mismo, como lo puede ser un horno o un calefón. Incluso el problema puede no ser que algo se haya roto, sino que no se sepa como hacerlo, por ejemplo, instalar un aire acondicionado.

Muchas de estas tareas requieren cierto nivel de conocimiento, experiencia o incluso preparación previa que no todo el mundo posee, por lo que una plataforma que permita contratar a profesional que den una solución eficiente a estos problemas domésticos resultó ser una propuesta interesante no solo para nosotros, sino para muchas personas a las que les hemos comentado la idea.

Hemos hablado de este tema con conocidos nuestros y prácticamente todos nos han dicho que han pasado por una situación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



similar, en la que tienen un problema en su casa pero no saben como solucionarlo o no saben a quién contactar. También hemos compartido un cuestionario a varias personas preguntando cosas como qué tipo de inconvenientes han tenido, si han podido solucionarlo, qué tan útil les resultaría una plataforma como Homefixing, etc., y las respuestas han sido positivas, o sea, si les gustaría un servicio así.

No hay demasiados servicios similares a Homefixing, y los que existen no poseen la misma cantidad de elementos para asegurar un trabajo satisfactorio. Las personas quieren estar seguras de que están contratando a alguien no solo eficiente en su área, sino que sea una persona confiable para dejarlo trabajar en tu hogar. Lo mismo pasa con los profesionales, quieren saber el tipo de cliente con el que van a tratar.

A continuación, se presenta un análisis comparativo con otras plataformas utilizadas para fines similares:

- **Expertos del Hogar**: Esta plataforma funciona principalmente como un directorio de contactos. Si bien permite encontrar profesionales, carece de funcionalidades esenciales que generan confianza y eficiencia. A diferencia de Homefixing, no integra un sistema de calificación y reseñas de los trabajadores, ni permite la gestión de turnos y contrataciones dentro del mismo sistema, dejando al usuario la responsabilidad de coordinar y verificar la fiabilidad del profesional por fuera de la plataforma.
- **iFixit**: El enfoque de iFixit es principalmente informativo, ofreciendo guías y tutoriales para que el propio usuario solucione sus problemas. Si bien es un recurso valioso, no ofrece una solución para quienes no pueden o no desean realizar el trabajo por sí mismos. Homefixing complementa esta necesidad mediante la incorporación de un chatbot inteligente que no solo puede guiar en la resolución de problemas simples, sino que también tiene la capacidad de recomendar y facilitar la contratación de un profesional calificado cuando la tarea supera las habilidades del usuario.
- **Google Maps**: Aunque esta herramienta permite la búsqueda geolocalizada de profesionales y la visualización de valoraciones públicas, no está diseñada como una plataforma de gestión de servicios. Carece de un sistema integrado para la solicitud y confirmación de turnos, la gestión de pagos o la comunicación directa y segura entre cliente y profesional, elementos que son centrales en la propuesta de valor de Homefixing.

Otro aspecto a tener en cuenta es la facilidad de uso de Homefixing. Es probable que muchos de los usuarios sean personas que no estén familiarizadas con este tipo de plataformas, por lo que tener una interfaz cómoda, intuitiva y rápida es uno de los principios más importantes. Debemos asegurar que cualquier persona pueda utilizar la plataforma, tenga conocimientos previos en este tipo de plataformas o no.

**Objetivos**

- Brindar una herramienta simple y accesible para contactar profesionales
- Proveer perfiles detallados de los profesionales
- Garantizar la calidad y fiabilidad de los profesionales
- Facilitar una comunicación directa y eficiente
- Ofrecer un sistema de pago seguro y transparente
- Establecer un sistema de calificación y reseñas
- Brindar soporte al cliente eficiente
- Ofrecer herramientas para la gestión de trabajos y citas
- Proveer una plataforma para el seguimiento de los trabajos realizados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Metodología, organización y dirección**
El proyecto es gestionado mediante metodologías ágiles que permiten mantener reuniones regulares, revisión de avances, replanteo de prioridades y asignación clara de tareas. La dirección del proyecto se centra en:
- Establecer cronograma realistas
- Delegar responsabilidades entre los miembros del equipo
- Mantener la comunicación fluida y constante
- Tomar decisiones rápidas ante obstáculos o cambios
- Asegurar que las necesidades del usuario final guíen el desarrollo

**Módulo de autenticación de usuarios**
Se busca que los usuarios puedan crearse una cuenta, como cliente o trabajador, para que puedan iniciar una sesión y acceder a las funciones específicas de cada rol. A la hora de crear una cuenta, se deben ingresar datos personales como nombre, dirección o rubros en el caso de ser trabajador, como en la Figura 1. Esto está acompañado de un proceso de autenticación que asegura que cada cuenta solo será utilizada por su correspondiente usuario. Además, posee un método de recuperación de contraseñas en caso de que alguien olvide la suya.

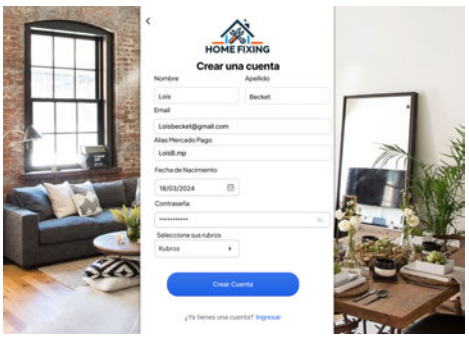



Figura 1 - Creación de cuenta para el trabajador

**Módulo de gestión de perfil de usuario**
Para los usuarios que ya tengan una cuenta creada, se les da la posibilidad de realizar ciertas modificaciones a sus perfiles si así lo desean, como lo puede ser cambiar la foto de perfil, la contraseña o la dirección de su hogar si ya no vive ahí. En caso de ser trabajador, el usuario tiene la opción para gestionar sus certificaciones, y tanto cliente como trabajador tienen la opción de eliminar su cuenta, como se ve en el botón rojo de la Figura 2.

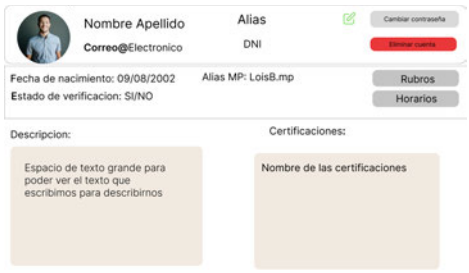



Figura 2 - Perfil del trabajador

**Módulo de comunicación**
Para asegurar una comunicación rápida y sencilla entre cliente y trabajador, la plataforma posee un sistema de mensajes. Cada usuario puede enviar a otro, mensajes con texto y/o imágenes adjuntadas. Estas conversaciones quedan guardadas, como se ve a la izquierda de la Figura 3, para que sean consultadas por cualquiera de las 2 partes, aunque si se desea está la opción de eliminar el chat y/o el contacto para que ya no aparezca en la lista de contactos del usuario.

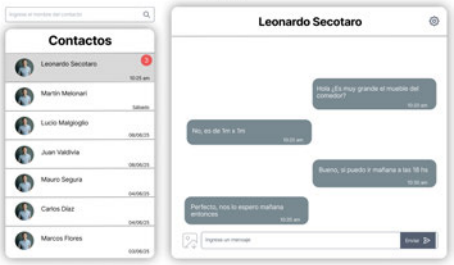



Figura 3 - Chat entre un trabajador y un cliente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Módulo de trabajo**

La base de todo el sistema es la gestión de los turnos de trabajos solicitados por los clientes y realizados por los trabajadores. Los usuarios tienen la opción de solicitar un turno con el trabajador que quieran o publicar una subasta dónde varios trabajadores pueden participar, pero el cliente solo elegirá a uno. En ambos casos hay una negociación previa sobre el precio y/o la fecha del trabajo, si ambas partes aceptan se establece el turno o si alguno de los dos lo rechazan se cancela el mismo. El trabajador no debe preocuparse por sus horarios ya que está implementada una agenda automática que asegura que no se superpongan los turnos en una misma fecha. El cliente puede realizar ciertas modificaciones a un turno ya establecido siempre y cuando sea antes de las 24 hs y si el trabajador está de acuerdo. También existe una forma de ver el progreso del turno para saber su estado actual en todo momento. Una vez finalizado el trabajo, los usuarios tienen la posibilidad de valorar al otro, y el cliente puede valorar también al trabajo en sí. En caso de que el cliente haya quedado muy satisfecho con el desempeño del trabajador, puede agregarlo a su lista de trabajadores favoritos para contactarlo fácilmente en un futuro trabajo.




Figura 4 - Turnos de trabajo

**Módulo de foro**

Los usuarios pueden utilizar el foro público de Homefixing para publicar, responder y/o consultar ideas o problemas relacionados a los problemas del hogar. El contenido de las publicaciones puede tener tanto texto como imágenes, para una mayor claridad. Los posts pueden ser modificados o eliminados por el mismo usuario que los publicó, y tiene la posibilidad de denunciar posts ajenos si ve que hay un motivo justificable para hacerlo. De igual forma las denuncias antes pasan por un moderador y éste determina la veracidad de la denuncia.




Figura 5 - Publicación en el foro

**Módulo de backup**

Es importante asegurar la integridad de la información guardada en los servidores, ya que se poseen datos personales de muchos usuarios. Es por eso que se dispone de un mecanismo de backup que permite al moderador realizar copias ya sea de datos de los usuarios o del estado actual del sistema. Además se proveen herramientas que permiten la consulta, restauración o eliminación de los backup.

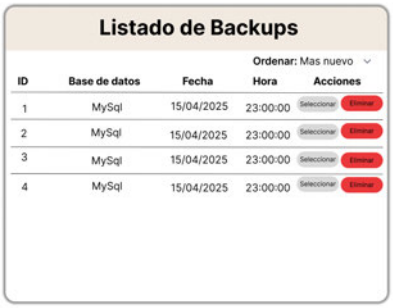



Figura 6 - Lista de los backups realizados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Módulo de notificación**

Debido a la gran cantidad de eventos que ocurren en la plataforma, hemos implementado un método de notificaciones que mantiene a los usuarios al pendiente de diferentes aspectos, estos son:

- Notificación de solicitud de turno
- Notificación de turno cancelado
- Notificación de turno exitoso
- Notificación trabajo finalizado
- Notificación de calificación recibida
- Notificación de respuesta en el foro
- Notificación de nuevo mensaje recibido




Figura 7 - Página de inicio con notificaciones en Trabajos y Chat

**Módulo de búsqueda**

Para facilitar la navegación a través de la web, hay varias formas de encontrar rápidamente lo que se busca. A la hora de buscar a un trabajador, por ejemplo, puede usarse una barra de búsqueda que por medio de palabras clave filtra a los profesionales. O también pueden usarse filtros previamente establecidos como los tipos de rubro o el promedio de valoración. La barra de búsqueda también está presente para los contactos, los reportes y las publicaciones de los foros.

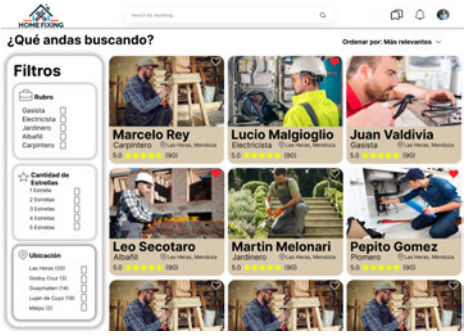



Figura 8 - Búsqueda de profesionales, con filtros y barra de búsqueda

**Módulo de chatbot**

Muchas personas podrían tener dificultades para saber exactamente a quién deberían buscar para solucionar el problema que tienen, y quizás no quieran esperar a que alguien les dé una solución en el foro. Por eso existe un Chatbot visible en la página de inicio al que los usuarios pueden hacerle preguntas relacionadas al problema que tienen y este les dará una explicación más detallada del problema junto con una posible solución que puedan realizar ellos mismos si es que no es difícil de arreglar. En caso de que, si lo sea, responde con el tipo de profesionales que debería contactar, como un plomero o carpintero, por ejemplo. Estas conversaciones quedarán guardadas, aunque el usuario es libre de eliminarlas si así lo desea.

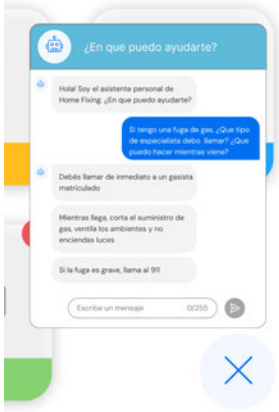



Figura 9 - Conversación con el chatbot

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Módulo de reportes**
Los trabajadores de la plataforma podrían querer saber cómo ha sido su desempeño a lo largo del tiempo usando Homefixing. Para eso existe un mecanismo que genera semanalmente diferentes estadísticas sobre los trabajadores para que estos las vean cuando quieran. La visualización puede ser mediante un gráfico de barras o de líneas, en donde se indican las métricas en cada uno de los ejes. También está la opción de descargar los reportes en archivos PDF, los cuales brindan algo de información adicional al presentar las estadísticas como tablas, de forma que pueden verse los datos más detalladamente. El usuario puede filtrar los reportes que quiere ver, ya sea por semana, mes, año o un intervalo de tiempo personalizado. Las métricas mostradas en las estadísticas son:
- Trabajos solicitados
- Trabajos realizados
- Ingresos generados
- Clientes nuevos
- Clientes que volvieron
- Promedio de calificaciones
- Promedio del tiempo de respuesta
- Vistas del perfil




Figura 10 - Estadísticas del trabajador ordenadas por semana

**Módulo de administración de sistemas**
El administrador-moderador del sistema es el encargado de dar de alta, modificar y eliminar cada una de las tablas parametrizadas para el funcionamiento de Homefixing. Además de ser el responsable de revisar las denuncias, tanto de los foros como de los trabajos y usuarios. Las tablas parametrizadas son:
- Categoría de trabajo
- Rol
- Género
- Trabajo
- Estado de trabajo
- Estado de producto
- Ubicación
- Localidad
- Departamento
- Provincia
- Tipo de trabajo
- Permisos de rol



Figura 11 - ABM de Categoría de trabajo

**Tecnologías**
A continuación se nombran y describen las diferentes tecnologías que hemos utilizado para realizar tanto el backend como el frontend, pruebas y despliegue de la plataforma, además de las aplicaciones que utilizamos para la comunicación entre los integrantes del grupo.
- Javascript: Lenguaje de programación interpretado, esencial para el desarrollo web del lado del cliente.
- [1] Dbeaver: Herramienta para el diseño, administración y mantenimiento de bases de datos.
- [2] MySQL: Sistema de gestión de bases de datos relacional (RDBMS), ampliamente utilizado por su rendimiento y facilidad de uso.
- [3] Ruby on rails: Es un framework de aplicaciones web de código abierto del lado del servidor escrito en el lenguaje de programación Ruby, siguiendo el paradigma del patrón Modelo Vista Controlador.
- [4] React: Biblioteca de JavaScript para construir interfaces de usuario interactivas y componentes reutilizables.
- [5] TailwindCSS: Framework de utilidad CSS que permite aplicar estilos directamente desde las clases en HTML o JSX, sin escribir CSS personalizado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- [6] Git: Sistema de control de versiones distribuido para gestionar cambios en el código fuente.
- [7] Github: Plataformas para alojar repositorios Git con herramientas de colaboración, CI/CD, issues, etc.
- [8] Postman: Herramienta para probar APIs de forma sencilla e interactiva.
- [9] Railway: Servicios de hosting para frontend o backend con despliegue automático.
- [10] Whatsapp: Aplicación de comunicación mediante mensajes
- [11] Discord: Canal de comunicación en tiempo real
- [12] Visual Studio Code: Editor de código fuente liviano pero potente, con soporte para JavaScript, Ruby on rails, React, MySQL y muchas extensiones.
- [13] Cypress: Herramienta de testing end-to-end moderna y potente, diseñada para aplicaciones web.
- [14] Figma: Entorno para diseñar wireframes.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Homefixing es una plataforma que cumple con su función de ser un entorno fácil de utilizar para que prácticamente cualquier persona pueda navegar en ella sin problemas. Lo cual es un aspecto importante considerando la gran cantidad de posibles usuarios que puede tener al ofrecer soluciones a problemas muy comunes, como lo pueden ser las reparaciones, instalaciones y/o mantenimiento de diferentes partes de un hogar.

Otro apartado que asegura la comodidad son los procesos automáticos, como las notificaciones o la agenda de los trabajadores para que el nivel de compromiso por parte de los usuarios sea mínimo y solo se preocupen en lo que quieren conseguir y no tanto cómo conseguirlo.

También consigue ser un medio eficiente y seguro para contactar con profesionales y clientes, gracias a su nivel de detalle en los perfiles de sus usuarios y también a los mecanismos de búsqueda y comunicación. Además de que tiene herramientas como el seguimiento de los turnos que dan seguridad incluso durante los trabajos al asegurar el estado de los mismos en todo momento.

La integración de un foro aporta mucho al sentimiento de comunidad que queremos lograr, al ser un espacio donde cualquier usuario puede compartir sus problemas o recomendaciones e interactuar con otros usuarios de manera pública.

Hay aspectos que no hemos podido solucionar en esta primera versión, como lo puede ser que los usuarios no compartan información privada de ellos que pueda poner en riesgo su seguridad y que no estaba prevista, por ejemplo sus números de teléfono. O también está el tema de que los usuarios podrían comunicarse por medios externos a Homefixing para evitar pagar la comisión. Se espera en un futuro encontrar una solución a estos problemas, por ahora no suponen un inconveniente para desarrollar la plataforma.

**Referencias**

[1] Dbeaver: https://dbeaver.io/
[2] MySQL: https://www.mysql.com/
[3] Ruby on rails: https://rubyonrails.org/
[4] React: https://es.react.dev/
[5] TailwindCSS: https://tailwindcss.com/
[6] Git: https://git-scm.com/
[7] Github: https://github.com/
[8] Postman: https://www.postman.com/
[9] Railway: https://railway.com/
[10] Whatsapp: https://www.whatsapp.com/?lang=es_LA.
[11] Discord: https://discord.com.

[12] Visual Studio Code: https://code.visualstudio.com/
[13] Cypress: https://www.cypress.io/
[14] Figma: https://www.figma.com/

**Datos de Contacto:**

*Juan Manuel Valdivia: juanmavd21@gmail.com - Dr. Notti 2090-2050*
*Leonardo Secotaro: leonardosecotaro@gmail.com - Severo del castillo 1820*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Lucio Malgioglio: luciomalgiogliopl3@gmail.com - Higuerita 1516*
*Martín Melonari: mamelonari@gmail.com - Yapeyú 681*
*Institución: Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza*

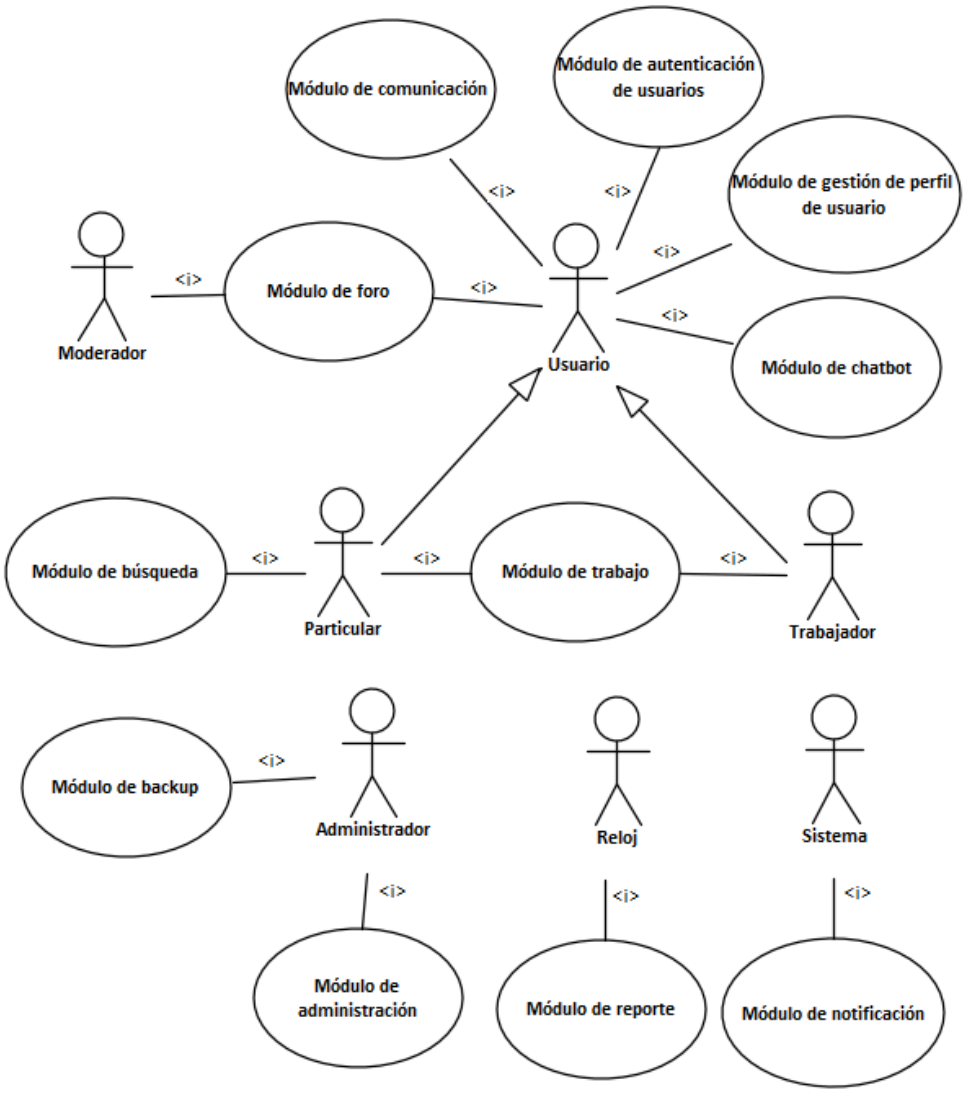



Figura 12 - Modelo de Casos de Uso Reducido

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



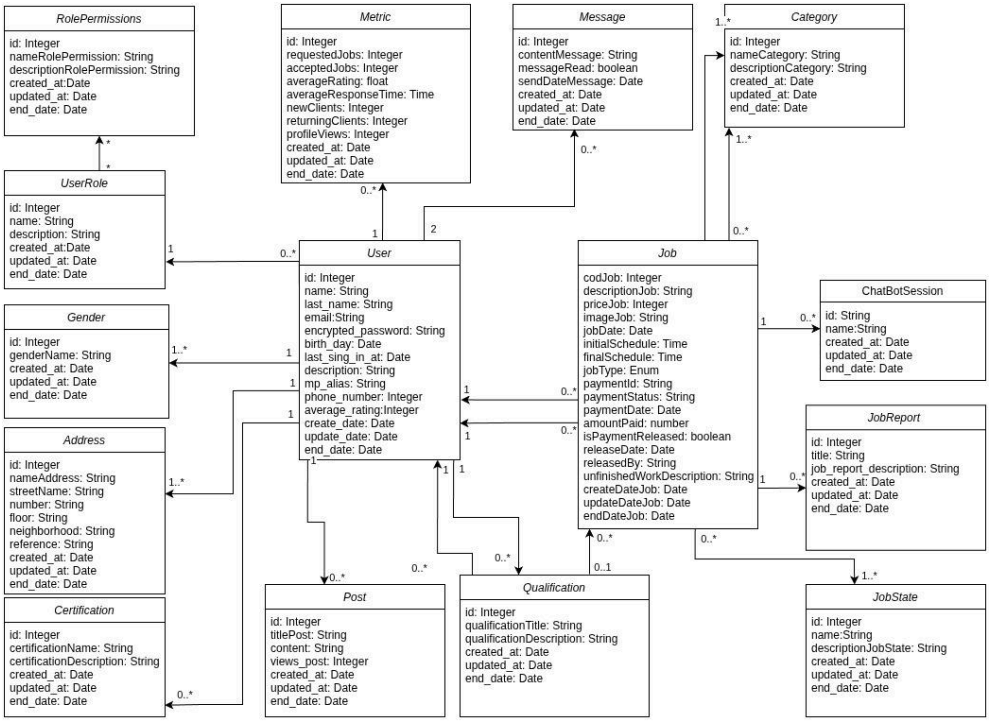



Figura 13 - Diagrama de Clases Reducido

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Melodify
# Sistema red social de música

**de los Ríos Ledesma, Carolina; Espeche Villalón, Marcos Ignacio; Fernández Calderón, Francisco Joaquín; Ledesma, Jennifer Jazmín; Maya Villarreal, Facundo Julián**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza***

**Resumen**
En el presente artículo se expone el proyecto desarrollado en concepto de Proyecto Final para la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, que consiste en la aplicación "Melodify": una red social musical, donde los usuarios pueden calificar canciones, álbumes y artistas, expresar su opinión y compartirla con otros usuarios a través de foros temáticos, y recibir recomendaciones personalizadas de música, de forma integrada dentro de un mismo sistema. La aplicación fue desarrollada siguiendo los lineamientos del Proceso Unificado de Desarrollo de Software, investigando aplicaciones similares, creando modelos de Datos y Casos de Uso, y diseñando prototipos de las pantallas para guiar el posterior desarrollo.

**Abstract**
*This article outlines the project developed as the Final Project for the Information Systems Engineering degree. The project entails the creation of an application named "Melodify": a social network dedicated to music, where users can rate songs, albums and artists, share their opinions with others by participating in forums, and receive recommendations to help them discover music they might enjoy, all within the same system. The application was developed following the guidelines of the Unified Software Development Process, researching similar applications, creating data models as well as Use Case models, and designing wireframes to guide further development.*

**Palabras Clave**
Recomendación de música, Foros de discusión, Red social musical, Descubrimiento musical, Algoritmos de recomendación.

## Introducción

En la actualidad, en un mundo interconectado, la cantidad de información a la que se tiene acceso en todo momento es abundante. Según Fabio Duarte en su artículo "Cantidad de información creada diariamente" [1], en 2010 se crearon aproximadamente 2 zettabytes de información. Esta cifra solo ha aumentado con el paso de los años, llegando a 147 zettabytes en 2024, representando un aumento aproximado del 7350% en cantidad de información generada.

Debido a esto, los usuarios de Internet se enfrentan a una cantidad abrumadora de opciones, lo puede derivar en lo que se conoce como parálisis de elección, un fenómeno en el cual la amplia oferta dificulta la toma de decisiones. Esto repercute en múltiples ámbitos, entre ellos el del descubrimiento musical. Según Matthew Woodward [2], se publican en promedio 1,8 millones de canciones nuevas en Spotify al mes, por lo que decidir qué escuchar puede volverse una tarea desafiante. Especialmente si lo que buscamos es conocer música nueva, donde tendremos menos conocimiento previo para ayudarnos a decidir.

A ello se suma que los sistemas de recomendación de las plataformas, lejos de fomentar la exploración, tienden a repetir contenidos similares, limitando la diversidad y reforzando patrones de consumo predecibles. Melodify se presenta como una solución tecnológica independiente y gratuita a este problema.

Esta aplicación está centrada en la recomendación de contenido musical. Cada *melodifier* (usuario de nuestro sistema) puede recibir recomendaciones basadas en sus preferencias personales a través de distintos algoritmos de recomendación. Además, la aplicación busca conectar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



usuarios a través de comunidades donde puedan debatir y compartir música.

Esta combinación de algoritmos y participación social permite un sistema de recomendación más diverso y transparente, promoviendo el descubrimiento genuino por encima de la repetición algorítmica.

**Desarrollo**

Para desarrollar la aplicación Melodify, se emplearon diversos métodos y técnicas de investigación para garantizar que la solución fuera efectiva y accesible para los usuarios interesados en el intercambio musical y la interacción social en torno a la música.

En cuanto a los materiales, se llevó a cabo un análisis de aplicaciones existentes como Spotify, Reddit, Musis y Musicboard para identificar fortalezas y debilidades en sus enfoques de interacción social musical.

Durante la etapa de diseño, se utilizó un enfoque iterativo e incremental, el cual incluyó diversas actividades como la definición de los objetivos y alcances finales del sistema, la creación de *wireframes* y prototipos, el diseño de interfaces gráficas, la generación de diagramas de arquitectura y el desarrollo del modelo de datos. La aplicación se dividió en módulos funcionales para segmentar y organizar la programación del sistema de manera más eficiente.

A continuación, se describe cada uno con mayor detalle.

***Módulo de seguridad***

Gestión de los perfiles con los permisos adecuados, controlando la seguridad del sistema mediante la gestión de autenticación y autorización de usuarios con roles distintos según su autoridad.

Proporciona formularios de acceso adaptados a cada tipo de usuario y garantiza que los usuarios interactúen con el sistema conforme al rol asignado, tal como se muestra en la Figura 1. Se cuenta con usuarios con rol de administrador que disponen de mayores permisos para la gestión total de los registros de usuarios y configuraciones del sistema. Estos permisos también se gestionan individualmente, creándose roles personalizables o dándolos de baja según sea necesario. Además, el módulo se encarga del manejo de *backups*, asegurando que la información del sistema esté resguardada.

***Módulo de parametrización***

Registro o establecimiento de los diferentes datos maestros que se pueden seleccionar en el sistema para garantizar el crecimiento y flexibilidad de este. Se pueden gestionar tipos de publicación (Debate, Votación, Reseña), tipos de miembro del foro (Propietario, Moderador, Miembro), tipos de notificación, y configuración de permisos específicos para cada tipo de miembro dentro de los foros, lo cual se aprecia en la Figura 2.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 1: Pantalla de módulo de seguridad*

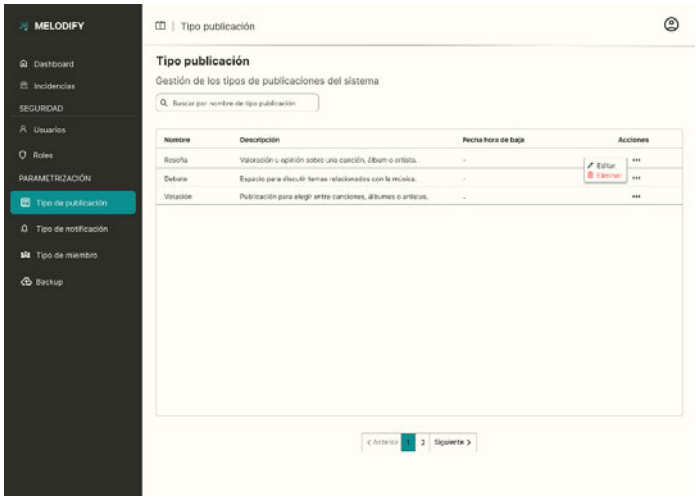



*Figura 2: Pantalla de módulo de parametrización*

### *Módulo de reportes*

Este módulo proporciona una herramienta para el análisis y la evaluación de datos relacionados con el uso y la eficacia del sistema. Los informes generados contienen métricas como la cantidad de nuevos usuarios por mes, la cantidad de publicaciones por foro, la cantidad de comentarios por foro, y estadísticas de actividad general que se adaptan a las necesidades del administrador que los solicita, según se observa en la Figura 3.

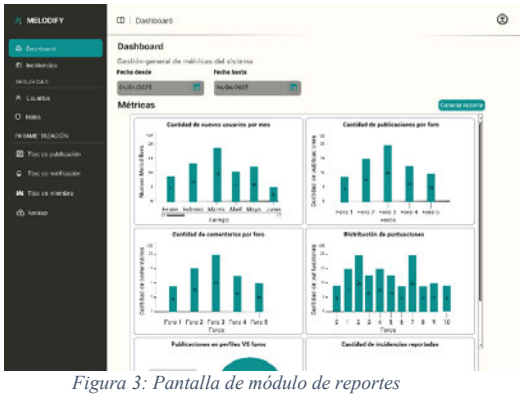



*Figura 3: Pantalla de módulo de reportes*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### *Módulo de foros y moderación*

Ofrece al usuario la capacidad de explorar, crear y gestionar foros temáticos musicales, tal como puede verse en la Figura 4, mediante una barra de búsqueda que permite encontrarlos por nombre o contenido musical asociado. Los usuarios pueden unirse o abandonar foros, crear nuevos con datos básicos (nombre, descripción, contenido musical asociado, ícono y banner) y configurar reglas y tópicos. Además, el sistema incorpora funciones de moderación que permiten al creador asignar miembros con permisos específicos para sancionar contenido, gestionar moderadores y expulsar usuarios cuando sea necesario.

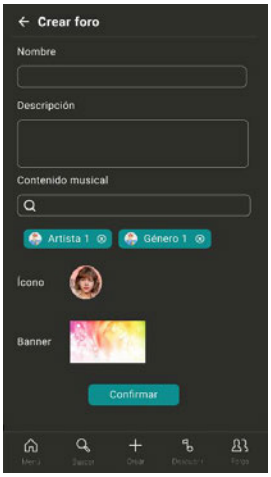



*Figura 4: Pantalla de módulo de foros y moderación*

### *Módulo de publicaciones*

Permite crear, editar, visualizar y eliminar publicaciones en tres tipos específicos: Debate, Votación y Reseña, como se ilustra en la Figura 5. Las publicaciones pueden realizarse dentro de un foro al que pertenezca el usuario o en su propio perfil, incluyendo título, cuerpo de texto, referencias a entidades musicales y, opcionalmente, imagen y/o enlaces. Las votaciones incluyen opciones y fecha límite, mientras que las reseñas incorporan referencias a calificaciones asignadas por el usuario. Además, el módulo gestiona el sistema de likes/dislikes, comentarios y respuestas entre usuarios.

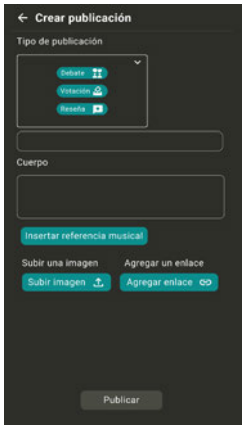



*Figura 5: Pantalla de módulo de publicaciones*

### *Módulo de música*

Permite a los *melodifiers* buscar artistas, álbumes y canciones mediante una interfaz de búsqueda intuitiva que se conecta con la base de datos musical del sistema. Proporciona acceso al perfil detallado de cada entidad musical donde se muestra información completa incluyendo nombre, valoración general del sistema basada en todas las calificaciones de usuarios, valoración propia del *melodifier*, imagen representativa (fotografía del artista o portada del álbum) y enlace directo a Spotify cuando esté disponible. Este módulo centraliza toda la información musical y facilita la navegación entre diferentes entidades musicales relacionadas, tal como se presenta en la Figura 6.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 6: Pantalla de módulo de música*

***Módulo de recomendaciones***

Permite a los *melodifiers* otorgar una puntuación numérica (del 0 al 10) a canciones, álbumes y artistas. En base a sus valoraciones pueden recibir recomendaciones personalizadas, las cuales pueden guardar para recordar valorarlas más adelante. Al registrarse en la aplicación, pueden completar una encuesta inicial sobre artistas favoritos o vincular su cuenta de Spotify para facilitar las recomendaciones según la música escuchada, lo que muestra en la Figura 7.

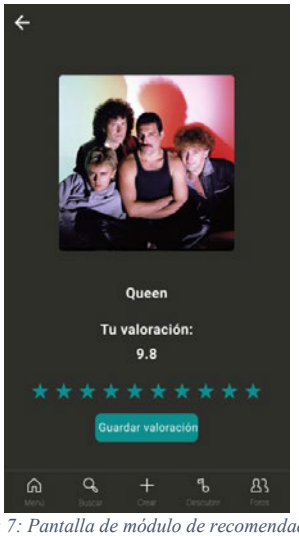



*Figura 7: Pantalla de módulo de recomendaciones*

***Módulo de mensajería***

Facilita la comunicación directa entre usuarios mediante un sistema de chat privado. Permite enviar solicitudes de chat desde el perfil de cada usuario, las cuales se gestionan a través de una bandeja de entrada donde pueden ser aceptadas, rechazadas o bloqueadas. Los chats activos permiten el envío de mensajes en tiempo real, y el sistema permite eliminar chats cuando sea necesario, garantizando el control del usuario sobre sus comunicaciones.

***Módulo de perfil y cuenta***

Proporciona una interfaz completa para que los *melodifiers* visualicen y gestionen su información personal y actividad en la plataforma. Los usuarios pueden consultar su perfil completo incluyendo estadísticas, historial de publicaciones, top 3 de artistas, álbumes, y canciones favoritas, y un listado de calificaciones. Incluye funcionalidades para buscar otros usuarios, seguirlos, y gestionar configuraciones de cuenta como notificaciones y vinculación con Spotify, entre otros, lo que puede verse en la Figura 8.




*Figura 8: Pantalla de módulo de perfil*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Módulo de feed***

Centraliza las publicaciones sugeridas en un *feed* dinámico que genera un resumen de contenido relevante para cada usuario basado en los foros a los que pertenece y los *melodifiers* que sigue. Además del contenido social, incluye un sistema de recomendaciones musicales personalizadas que sugiere canciones, álbumes y artistas para que los usuarios puedan calificarlos, contribuyendo al crecimiento de su perfil musical, según muestra en la Figura 9.

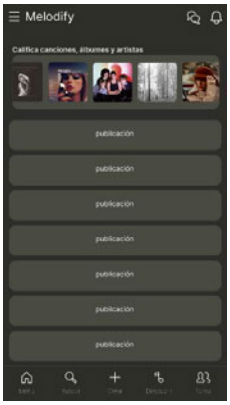



*Figura 9: Pantalla de módulo de feed*

***Módulo de soporte técnico***

Permite a los usuarios de la aplicación móvil reportar errores y problemas técnicos que encuentren durante el uso. Las incidencias se registran automáticamente con estado "Pendiente" y los administradores pueden consultar todos los reportes, revisando detalles y marcando las incidencias como "Resueltas" o "Rechazadas" según corresponda.

**Modelo de datos**

La figura 10 presenta un resumen de la vista del modelo de datos de la arquitectura. Se utiliza un diagrama de clases de entidad puesto que se utiliza un lenguaje orientado a objetos en el sistema.

**Modelo funcional**

La figura 11 expone una versión simplificada de la vista del modelo funcional de la arquitectura, utilizando un Modelo de Casos de Uso.

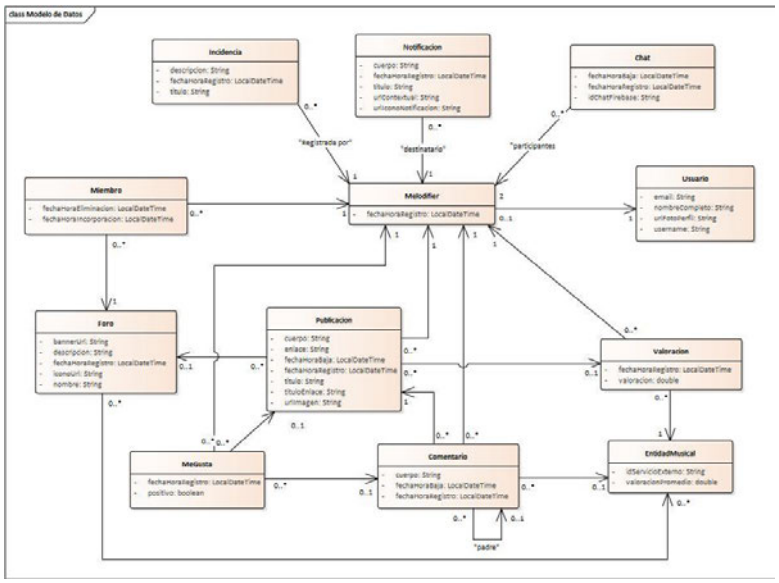



*Figura 10: Diagrama de clases reducido*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



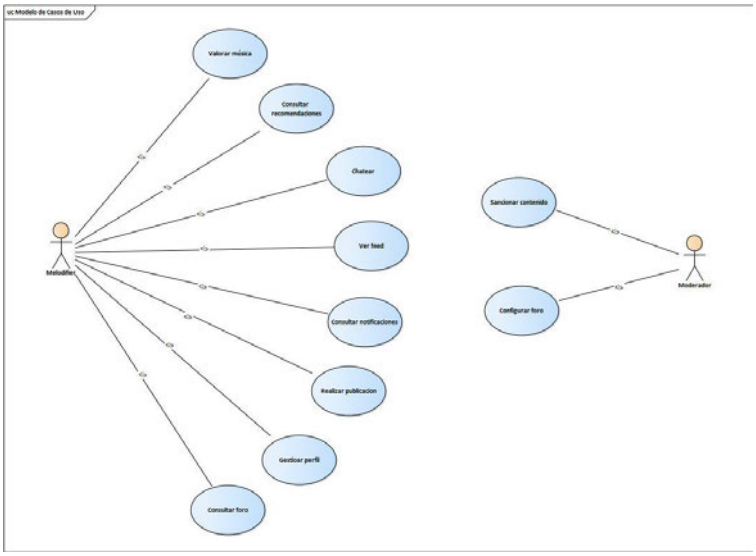



*Figura 11: Modelo de Casos de Uso reducido*

**Arquitectura del sistema**

La figura 12 muestra el modelo de la arquitectura lógica del sistema. Los usuarios acceden desde distintos dispositivos: en el caso de los *melodifiers*, a través de una aplicación móvil hecha en Flutter [3], y en el de los administradores, mediante un navegador web. El sistema sigue una arquitectura cliente-servidor con renderizado del lado del cliente (*client-side rendering*).

Toda la solución está desplegada en la nube de AWS [4]. El BackOffice, hecho con Next JS [5], se aloja en un bucket de S3 y se distribuye mediante una red de entrega de contenidos (CDN), lo que permite un acceso rápido y eficiente.

Tanto la aplicación móvil como la versión web se comunican con una API REST, hecha en Spring Boot [6] con Java [7], que contiene la lógica de negocio. La misma se ejecuta en una máquina virtual. El servicio de recomendaciones se implementa mediante una función Lambda de Python [8], aprovechando la tecnología *serverless*. Ambos servicios utilizan una base de datos relacional PostgreSQL [9].

Cuando se requiere subir imágenes al sistema, las mismas son recibidas por la API REST, quien las sube a un bucket S3 para que pueda ser accedida por los usuarios mediante una URL.

Para funciones como la autenticación, el envío de notificaciones *push* y la mensajería en tiempo real, se emplean los servicios de Firebase [10], que actúan como una solución de *backend as a service*.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



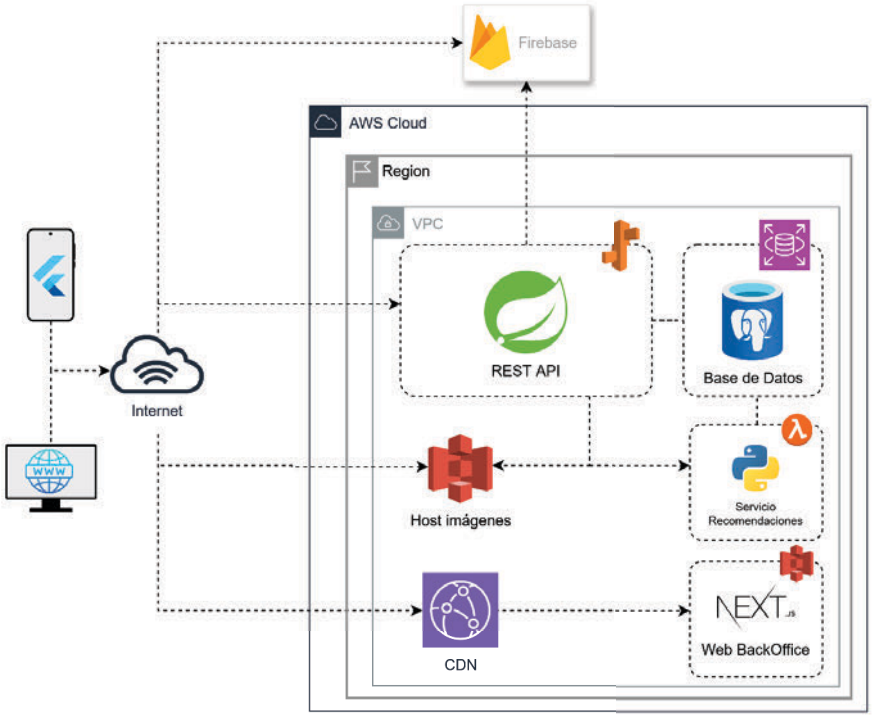



*Figura 12 Diagrama de arquitectura del sistema*

**Resultados**

Los resultados luego de finalizar el proyecto fueron satisfactorios. Respetando la metodología definida se logró el objetivo de crear un sistema que facilite el descubrimiento musical mediante el uso de recomendaciones algorítmicas y la interacción entre usuarios a través de foros temáticos.

Gracias a sus interfaces amigables, generación de reportes, amplio catálogo musical, envío de notificaciones oportunas, y un adecuado nivel de parametrización, Melodify se presenta como una red social esencial para la ampliación de gustos musicales y conexión significativa entre usuarios.

**Discusión**

El estudio y desarrollo de Melodify resulta relevante en el campo de las redes sociales y la tecnología musical. Melodify mejora la experiencia musical de los usuarios al permitir el intercambio fluido de opiniones y recomendaciones, facilitando la creación de comunidades temáticas centradas en intereses musicales específicos. El sistema aborda la fragmentación de la información musical al centralizar contenido sobre artistas, álbumes y canciones en un solo ecosistema, incluyendo reseñas, recomendaciones, discusiones, interacciones sociales, información técnica, y otros datos que normalmente no se encuentran en un sistema unificado. Esto consigue aumentar la probabilidad de descubrimiento musical significativo y conexiones sociales auténticas.

Además, Melodify recopila datos de interacción y preferencias musicales para análisis, lo que respalda la generación de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



recomendaciones personalizadas y mejora continuamente la experiencia del usuario. La aplicación brinda acceso a una amplia base de datos musical y herramientas de interacción social en cualquier lugar y momento a través de su versión móvil. En conjunto, Melodify puede impactar significativamente la forma en que las personas descubren, comparten y discuten música.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El objetivo principal de Melodify es ofrecer una experiencia de descubrimiento musical que combine recomendaciones generadas por un algoritmo con aportes de su comunidad de usuarios, funcionando como una red social centrada en el contenido musical. La integración con Spotify [11] permite nutrir el sistema con datos de escucha reales y redirigir al usuario a dicha plataforma para reproducir las pistas descubiertas, sin pretender reemplazarla, sino actuar como un complemento.

El uso de un *stack* moderno, como lo es Flutter [3] para el frontend móvil, Next JS [5] para la interfaz web de gestión, Java [7] con Spring Boot [6] para el backend RESTful y Python [8] como motor de recomendaciones, ha demostrado ser adecuado para construir una arquitectura modular, escalable y fácilmente extensible.

Las herramientas elegidas para la gestión, diseño y desarrollo del proyecto tienen la ventaja de ser colaborativas. Se usó Git [12] para versionado de código, Microsoft OneDrive [13] para documentación del proyecto, ClickUp [14] para organizar las tareas internas del equipo, Figma [15] para diseñar los prototipos de pantallas para el sistema, y Draw.io [16] para los artefactos de UML. Se empleó Discord [17] como principal canal de comunicación interna del equipo. Para diagramas de tiempos se usó ProjectLibre [18] y para las versiones finales de los artefactos UML se empleó Enterprise Architect [19].

No obstante, el trabajo presentado aún tiene margen de mejora en ciertos aspectos. La calidad de las recomendaciones depende de la cantidad y diversidad de datos proporcionados por los usuarios, y aún no se han realizado pruebas de usabilidad que permitan validar la experiencia social ni medir su impacto en términos de satisfacción, descubrimiento y retención.

Como trabajos futuros proponemos:

1. Pruebas de usuario y validación de usabilidad: diseñar y ejecutar estudios con usuarios reales para recoger métricas de satisfacción, tiempo de descubrimiento y participación en foros.
2. Mejora del algoritmo: explorar modelos de aprendizaje profundo que permitan refinar las recomendaciones y adaptarse dinámicamente a los cambios de comportamiento.
3. Optimización de la experiencia social: incorporar análisis de sentimiento a los comentarios de los usuarios y mecanismos de moderación automática basados en procesamiento de lenguaje natural.
4. Robustez y escalabilidad: evaluar el desempeño bajo cargas elevadas y diseñar mecanismos de balanceo de carga y despliegue continuo que garanticen alta disponibilidad.

En conjunto, estas líneas de trabajo contribuirán a consolidar la propuesta de valor de Melodify, posicionándola como una plataforma innovadora para el descubrimiento musical, que combina personalización, comunidad e infraestructura tecnológica sólida.

**Agradecimientos**
Agradecemos a los docentes académicos por su orientación y apoyo durante nuestra formación profesional, sin la cual no hubiésemos podido llevar a cabo este proyecto. Asimismo, expresamos nuestro reconocimiento al comité organizador de CoNaIISI

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



por brindarnos la oportunidad de presentar este proyecto final de carrera.

**Referencias**

[1] Amount of Data Created Daily (2025), by Fabio Duarte. Recuperado el 18 de agosto de 2025 de: https://explodingtopics.com/blog/data-generated-per-day
[2] Spotify Statistics: Users, Artists, Revenue and More! By Matthew Woodward. Recuperado el 18 de agosto de 2025 de: https://www.searchlogistics.com/learn/statistics/spotify-statistics/
[3] Flutter. Flutter – Build apps for any screen. Recuperado el 1 de agosto de 2025 de: https://flutter.dev
[4] Amazon Web Services. AWS | Cloud Computing – Servicios de Informática en la nube. Recuperado el 6 de agosto de: https://aws.amazon.com/es/
[5] Next JS. Next.js by Vercel – The React Framework. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de: https://nextjs.org/
[6] Spring Boot. Recuperado el 1 de agosto de 2025 de: https://spring.io/projects/spring-boot
[7] Java. Java | Oracle. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de: https://www.java.com/es/
[8] Python. What is Python? Executive Summary | Python.org. Recuperado el 1 de agosto de 2025 de: https://www.python.org/doc/essays/blurb/
[9] PostgreSQL. PostgreSQL: The world's most advanced open source database. Recuperado el 6 de agosto de: https://www.postgresql.org/
[10] Firebase | Firebase Documentation. Recuperado el 12 de agosto de 2025 de: https://firebase.google.com/docs?hl=es-419
[11] Spotify Web API. Recuperado el 1 de agosto de 2025 de: https://developer.spotify.com/documentation/web-api/
[12] Git. Recuperado el 1 de agosto de 2025 de: https://git-scm.com
[13] Microsoft OneDrive. Almacenamiento personal en la nube: Microsoft OneDrive. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de: https://www.microsoft.com/es-ar/microsoft-365/onedrive/online-cloud-storage
[14] ClickUp. Recuperado el 1 de agosto de 2025 de: https://clickup.com
[15] Figma. Figma | La herramienta de diseño de interfaz colaborativo. Recuperado el 1 de agosto de 2025 de: https://www.figma.com/es-la/
[16] Draw.io. draw.io. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de: https://www.drawio.com/
[17] Discord. Discord – Group Chat That's All Fun & Games. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de : https://discord.com/
[18] ProjectLibre. ProjectLibre Desktop – #1 Global Alternative to Microsoft Project. Free, Open-Source Project Management Software. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de: https://www.projectlibre.com/
[19] Enterprise Architect. UML modeling tools for Business, Software, Systems and Architecture. Recuperado el 4 de agosto de 2025 de: https://sparxsystems.com/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# BirdEX: aplicación para observadores de aves

**Abstract**
*El presente proyecto tiene como finalidad el desarrollo de una aplicación móvil para Android destinada a la identificación y registro de aves autóctonas en Argentina. BirdEX surge ante la falta de herramientas que permitan reconocer especies autóctonas y, al mismo tiempo, ofrecer una manera sencilla de registrar los avistamientos y acceder rápidamente a la información desde un único lugar. La solución se centra en la implementación de un sistema de reconocimiento automático que emplea modelos de inteligencia artificial para analizar imágenes, videos y audios de cantos, integrando además la ubicación geográfica para mejorar la precisión de los resultados. El usuario podrá registrar avistajes en tiempo real y acceder a un mapa–catálogo interactivo que mostrará las especies observadas por provincia, junto con un glosario ilustrado con información descriptiva y migratoria. La aplicación contará también con un sistema de logros y recompensas que incentive la participación continua mediante misiones e insignias. El proyecto incluye el desarrollo del backend, la infraestructura de IA y bases de datos necesarias, junto con un módulo de administración básico para la gestión de contenido, constituyendo así una herramienta innovadora para el avistaje y la educación ambiental en Argentina.*

**Palabras Clave**
Aves autóctonas, Inteligencia Artificial, Aplicación Móvil, Avistaje, Geolocalización.

## Introducción

En Argentina, el avistaje de aves se ha convertido en una práctica cada vez más difundida[1] tanto en el ámbito recreativo como en el científico, impulsada por la creciente preocupación por la conservación de la biodiversidad y el interés en la educación ambiental. Sin embargo, la identificación precisa de especies representa un desafío considerable[2]: la diversidad de aves autóctonas del país, junto con las variaciones en plumaje, canto y distribución geográfica, dificultan el reconocimiento, especialmente para aficionados sin conocimientos técnicos avanzados.

En este contexto surge el interrogante: ¿cómo aprovechar las tecnologías emergentes para facilitar la identificación y registro de aves de manera accesible, confiable y atractiva? El presente trabajo propone como respuesta el desarrollo de BirdEX, una aplicación móvil que integra inteligencia artificial para reconocer especies a partir de imágenes, videos y sonidos, complementando el análisis con información de geolocalización.

La solución no solo busca asistir al usuario en la identificación en tiempo real, sino también generar un mapa–catálogo interactivo que refleje los avistajes por provincia, construir un glosario ilustrado con información migratoria y fomentar la participación a través de un sistema de logros y recompensas. En primera instancia, la aplicación estará más enfocada hacia usuarios que practiquen el avistaje de aves como pasatiempo durante sus viajes y que tengan la necesidad de mantener registrados los avistajes que realicen, para luego incrementar las funcionalidades y conseguir un alcance mucho más amplio. De esta forma, se espera no solo mejorar la experiencia de observadores y naturalistas, sino también aportar datos de valor para instituciones científicas, educativas y turísticas.

A lo largo de este documento se detallará el proceso de diseño, implementación y validación de la aplicación, junto con el análisis de su impacto potencial en el campo del avistaje y la conservación de la biodiversidad en Argentina.

## Entorno de desarrollo

Para el desarrollo de BirdEX se seleccionaron tecnologías que equilibran rendimiento, escalabilidad y facilidad de integración. React Native permite un desarrollo ágil y multiplataforma con acceso a capacidades nativas del dispositivo, mientras que Spring Boot ofrece una base robusta para arquitecturas de microservicios. El uso de módulos de IA en Python, junto con una base de datos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



PostgreSQL con soporte geoespacial, garantiza un procesamiento eficiente de datos complejos y consultas de ubicación, asegurando al mismo tiempo flexibilidad para futuras ampliaciones.

- **Aplicación móvil (Android):** React Native con módulos nativos para cámara, micrófono, GPS y almacenamiento seguro. MinSDK Android 7.0+. Se utiliza la API de Google Maps[2] para localizar avistajes propios y de otros usuarios, zonas de aparicion de las especies y olas migratorias.
- **Backend / API:** Spring Boot (Java 17) bajo patrón de microservicios (Auth, Sightings, Species, Media, Inference Gateway, Achievements). Comunicación síncrona (REST/JSON) y asíncrona (eventos para post-procesos).
- **Módulos de IA:** servicios Python aislados (Docker) para visión y audio, entrenados con PyTorch[4]/TensorFlow[5] y expuestos vía gRPC/REST.
- **Base de datos:** PostgreSQL[6] con PostGIS para consultas geoespaciales (índices GiST/R-Tree). Almacenamiento binario de media en objeto (compatible S3); metadatos y features derivadas en BD relacional.

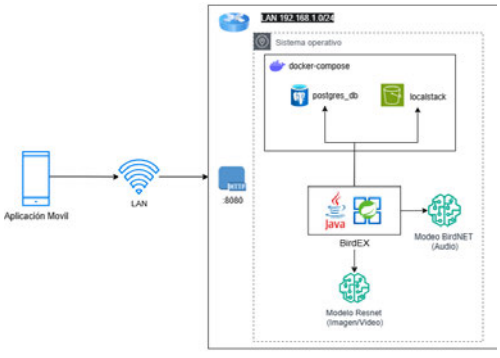



**Figura 1 – Arquitectura de BirdEX**

## Componentes del sistema

### Aplicación Móvil

El desarrollo de la aplicación móvil se llevó a cabo en React Native, elegido por su practicidad al permitir crear una única base de código que se adapta tanto a Android como a iOS, optimizando tiempos y recursos. La aplicación incorpora un sistema de autenticación que permite a los usuarios registrarse y acceder mediante sus datos personales. Una vez dentro de la plataforma, el usuario accede al submenú "Inicio", donde se presentan las misiones activas, los logros recientes y los últimos avistamientos registrados.

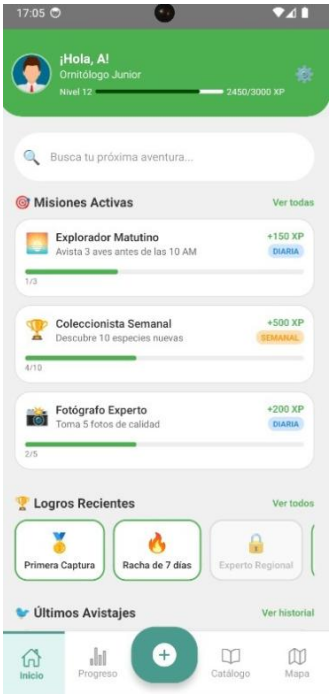



**Figura 2 - Pantalla inicial**

Entre las principales funcionalidades se incluye la posibilidad de capturar o subir imágenes, audios (como el canto del ave) o videos, los cuales son procesados utilizando el modelo entrenado de inteligencia artificial para identificar la especie correspondiente. En caso de reconocimiento exitoso, el sistema genera automáticamente un avistamiento. Sin embargo, el usuario

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



puede reportar discrepancias si no coincide con la identificación sugerida. En caso de aceptación, el registro se incorpora al progreso personal, disponible en el submenú "Progreso", que centraliza el historial de avistamientos del usuario autenticado.

Existirá un perfil "Administrador" dentro de la aplicación que podrá visualizar los avistamientos reportados para realizar el seguimiento correspondiente. También, será el encargado de administrar la información de las diferentes especies del catálogo.

Dicho catálogo interactivo de aves autóctonas argentinas es accesible a través del submenú "Catálogo", donde se detallan características de cada especie, incluyendo descripción, rasgos distintivos, nivel de rareza, zonas de aparición y patrones migratorios representados en un mapa.

Entre otras funcionalidades, el submenú "Mapa", en el cual, los usuarios pueden visualizar tanto sus propios avistamientos como los compartidos por la comunidad, con la opción de realizar búsquedas específicas de especies de interés.




**Figura 3 - Arquitectura aplicación móvil**

## Backend

El sistema se basa en un backend desarrollado en Java 17 con Spring Boot, que concentra la lógica de negocio y ofrece servicios esenciales como autenticación mediante JWT con control de roles, gestión de observaciones de aves, consulta de especies con sus rangos y estacionalidad, y administración de archivos multimedia mediante URLs firmadas. La persistencia se realiza sobre una base de datos Postgres desplegada en contenedores, junto con Localstack, que permite emular servicios de nube en entorno local, incluyendo el almacenamiento de objetos en S3.

Las operaciones críticas se resguardan con transacciones para garantizar consistencia y evitar commits parciales, mientras que la observabilidad se asegura con trazabilidad de logs configurados mediante logback y gestionados con Slf4j.

La arquitectura incorpora además componentes de inteligencia artificial. Un servicio Python desplegado en un entorno virtual (venv) con FastAPI[7] expone el modelo BirdNET[8] para el reconocimiento de cantos de aves a partir de audio. En paralelo, un script Python ejecuta un modelo ResNet[9] para procesar imágenes y videos. Ambos interactúan con el backend, enriqueciendo la información registrada por los usuarios y validando automáticamente los contenidos cargados.

En conjunto, la solución combina un backend robusto, almacenamiento confiable en S3, mecanismos de observabilidad y resiliencia, junto con el procesamiento de múltiples tipos de datos gracias a modelos de IA especializados. Todo ello en un entorno modular y escalable.

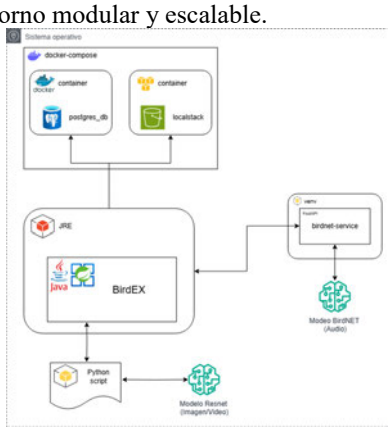



**Figura 4 – Arquitectura Backend**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Entrenamiento Modelo de reconocimiento de imágenes**

El entrenamiento del modelo para reconocimiento por imagen fue orientado a la identificación de especies de aves argentinas. El dataset utilizado cuenta con un total aproximado de 2000 imágenes por especie previamente organizadas en carpetas por clase y almacenadas en Google Drive. Además, se implementó una clase extra denominada "Desconocido" para contemplar casos en los que se detecte un ave que no sea argentina fuera de las especies argentinas incluidas.

Para la implementación se utilizó Google Colab, montando Google Drive como sistema de archivos. De esta manera, fue posible acceder directamente al dataset y almacenar tanto el modelo entrenado como los archivos de control de progreso (checkpoints).

Con el fin de garantizar uniformidad en los datos y mejorar la capacidad de generalización del modelo, las imágenes fueron sometidas a un conjunto de transformaciones. Para el conjunto de entrenamiento, se aplicó un redimensionado a 256×256 píxeles, un recorte central de 224×224, normalización de valores según los parámetros estándar de ImageNet[12] y una transformación aleatoria de espejo horizontal, con el objetivo de aumentar la variabilidad del dataset. Para el conjunto de validación, en cambio, se utilizaron únicamente el redimensionado, el recorte y la normalización, asegurando condiciones de evaluación consistentes.

El dataset completo fue dividido en dos subconjuntos: un 80% destinado al entrenamiento y un 20% destinado a la validación. Ambos subconjuntos fueron cargados mediante DataLoader, utilizando un tamaño de lote de 16 imágenes.

Se empleó la arquitectura ResNet-18 preentrenada en ImageNet como modelo base. Mediante la técnica de transfer learning[13], se mantuvieron las capas convolucionales originales como extractor de características, reemplazando únicamente la capa de salida (fc) por una nueva capa totalmente conectada con 18 neuronas, correspondientes al número de especies a clasificar.

El entrenamiento se llevó a cabo utilizando la función de pérdida CrossEntropyLoss[14], adecuada para problemas de clasificación multiclase. Se estableció un máximo de 30 épocas de entrenamiento, implementando un mecanismo de early stopping que detiene el proceso en caso de no registrarse mejoras en la pérdida de validación durante cinco épocas consecutivas.

Cada época estuvo compuesta por dos fases. Entrenamiento, en la que se ajustaron los pesos del modelo a partir de los lotes de imágenes del conjunto de entrenamiento y validación, en la que se evaluó el desempeño sobre imágenes no vistas, permitiendo monitorear el error y prevenir el sobreajuste (overfitting).

Al finalizar cada época se implementó un sistema de guardado doble. Se almacenó el mejor modelo hasta el momento en función de la pérdida de validación y se generó un archivo de checkpoint que incluye los pesos del modelo, el estado del optimizador, la época alcanzada y la mejor métrica registrada, lo que permite retomar el entrenamiento en caso de interrupciones sin necesidad de reiniciarlo desde cero.

**Arquitectura y Flujos Principales**
1) Captura → Filtrado → Identificación → Registro (imagen/video)

- Captura en la app: el usuario puede tomar una foto, grabar un video o cargar archivos desde la galería. En el caso de video, se aplica una compresión adaptativa que conserva los keyframes más relevantes.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Filtrado con YOLOv8m[10]: antes de gastar recursos en identificar especies, el sistema utiliza este modelo para detectar si efectivamente hay aves en la imagen o fotograma. Solo si se confirma la presencia, la captura pasa a la siguiente etapa.
- Identificación de la especie: las imágenes que contienen aves se procesan con un modelo de visión entrenado específicamente para la aplicación, utilizando un dataset de aves autóctonas de Argentina. (CNN ligera, ResNet).
- Respuesta al usuario: se muestra la especie más probable con su porcentaje de confianza. Esto permite que el usuario entienda el nivel de certeza del sistema.
- Registro y validación: si el usuario confirma o corrige el resultado, esa información se guarda en la base de datos.

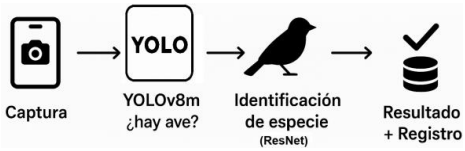



**Figura 5 – Flujo de identificación (Imagen/Video)**

2) Captura → Inferencia → Registro (audio/canto)

- Audio: la aplicación captura fragmentos en formato WAV a 16 bits con muestreo estándar de 44.1 kHz. El audio se segmenta en ventanas de 3–5 segundos con solapamiento, siguiendo la configuración recomendada por BirdNET.
- Preprocesamiento: cada segmento se transforma en un espectrograma log-mel, que representa la energía en distintas bandas de frecuencia en función del tiempo.
- Inferencia con BirdNET: el espectrograma se pasa al modelo audio-model-fp16.tflite, una red neuronal convolucional profunda optimizada para ejecución eficiente en dispositivos móviles. El modelo devuelve probabilidades de presencia para un conjunto de especies soportadas, incluyendo aves de Argentina.
- Postprocesamiento y filtrado: se aplica umbral adaptativo para descartar predicciones de baja confianza y se priorizan especies presentes en la región según la georreferenciación y la estacionalidad. Adicionalmente, se integra el horario del registro, dado que muchas especies tienen picos de vocalización (ej. amanecer).
- Respuesta y registro: se retorna al usuario la especie con mayor nivel de confianza obtenido del resultado del modelo.

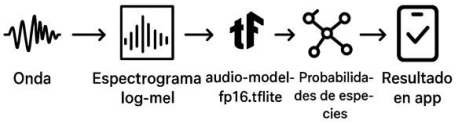



**Figura 6 – Flujo de identificación (Audio)**

## Modelo de datos

El sistema BirdEX se apoya en una base de datos relacional diseñada para almacenar usuarios, avistajes, especies, archivos multimedia y logros. El modelo garantiza la trazabilidad de cada registro, la asociación con el usuario correspondiente y la extensibilidad necesaria para futuras funcionalidades.

### Entidades principales

- USER: contiene los datos de acceso de cada usuario (identificador, nombre, email, contraseña).
- PROFILE: complementa al usuario con información adicional, como la foto de perfil.
- BIRD: representa cada especie de ave. Incluye nombre científico y común, tamaño, color,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



características, rareza, descripción, imagen y su ola migratoria.

- SIGHTING (avistaje): núcleo del sistema. Registra el avistaje de un ave, vinculando el usuario que lo reportó, la especie observada, la ubicación, la fecha/hora y el estado del registro.
- BIRD FILE: gestiona los archivos multimedia asociados a un avistaje (fotos, videos o audios). Contiene la URL de acceso y el tipo de archivo.
- ACHIEVEMENT: define los logros disponibles en la aplicación, con su insignia, descripción, meta y objetivos.
- USER ACHIEVEMENT: vincula a cada usuario con los logros alcanzados, almacenando estado, progreso, meta y fecha de finalización.
- USER MISSION: vincula a cada usuario con las misiones activas, almacenando estado, progreso, meta y fecha de finalización.
- MISSION: define las misiones disponibles en la aplicación, con su recompensa y objetivo.

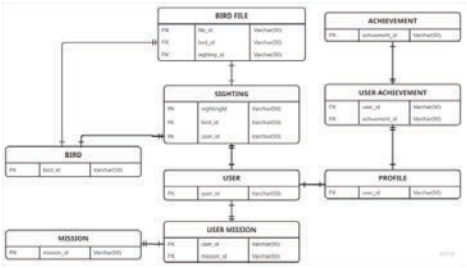



**Figura 7 – Diagrama entidad-relación con clave primaria y clave foránea**

## Trabajos Relacionados

En el ámbito del reconocimiento de aves existen iniciativas previas a nivel internacional que inspiran y, al mismo tiempo, marcan las limitaciones que BirdEX busca superar.

Uno de los desarrollos destacados es iNaturalist[11], una plataforma colaborativa que permite registrar observaciones de fauna y flora en todo el mundo. Su fortaleza es la comunidad activa de naturalistas y científicos que validan observaciones, lo que la convierte en una herramienta valiosa para investigación. No obstante, al depender de validación humana y no de un sistema de reconocimiento automático, la respuesta no es inmediata, lo cual limita su utilidad para un observador en campo.

Finalmente, el propio BirdNET Analyzer constituye una solución previa en el reconocimiento acústico de aves. Su fortaleza radica en la precisión en la clasificación de cantos, pero se presenta como una herramienta técnica que requiere conocimientos específicos para su uso, sin integrar de forma nativa mapas, glosarios, logros o un enfoque de experiencia de usuario amigable.

## Conclusión y Trabajos Futuros

BirdEX se diferencia al ofrecer una solución integral enfocada en aves autóctonas de Argentina, que combina en un único sistema el reconocimiento automático multimodal (imagen, audio y video), un mapa–catálogo interactivo, un glosario ilustrado y un sistema de logros gamificado. De esta forma, supera las limitaciones de las alternativas existentes y se adapta al contexto local con un enfoque educativo y de conservación ambiental.

El desarrollo de BirdEX representa un avance significativo en la incorporación de tecnologías de inteligencia artificial al campo del avistaje de aves en Argentina. A través de una aplicación móvil que combina reconocimiento automático de imágenes, sonidos y georreferenciación, se ofrece una herramienta práctica para naturalistas, aficionados y educadores. A diferencia de trabajos previos como iNaturalist, BirdEX se focaliza en las especies autóctonas del país, integrando en un mismo entorno un catálogo interactivo, un glosario educativo y un sistema de logros que incentiva la participación continua.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El presente trabajo establece un marco inicial que habilita la incorporación de nuevas funcionalidades y mejoras en futuras etapas. De cara al futuro, se proyecta avanzar en tres líneas principales:

1. Ampliación del dataset de cantos, imágenes y videos de aves argentinas, en colaboración con instituciones académicas y comunidades de observadores de aves.
2. Optimización del reconocimiento offline, mediante modelos ligeros que permitan la identificación básica sin necesidad de conexión permanente.
3. Expansión funcional, incluyendo versiones para otras plataformas, integración de métricas de conservación y alianzas con organismos ambientales para potenciar el valor científico de los registros recolectados.

En síntesis, este desarrollo establece una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito del avistaje y la conservación de especies.

**Referencias**

**[1]** Garabetyan, E. (27 de 01 de 2024). Perfil. Obtenido de https://www.perfil.com/noticias/sociedad/avistajes-de-aves-argentina-esta-entre-los-paises-de-mayor-crecimiento-de-practicantes-de-este-hobby.phtml

**[2]** Gorleri, F. C., Jordan, E. A., Roesler, I., Monteleone, D., & Areta, J. I. (2022). ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/363547281_Using_photographic_records_to_quantify_accuracy_of_bird_identifications_in_citizen_science_data

**[3]** Google. (s.f.). Google Developers. Obtenido de https://developers.google.com/maps/documentation/android-sdk/map?hl=es-419

**[4]** PyTorch. (s.f.). PyTorch Documentation. Obtenido de https://docs.pytorch.org/docs/stable/index.html

**[5]** TensorFlow. (s.f.). TensorFlow. Obtenido de https://www.tensorflow.org/?hl=es-419

**[6]** The PostgreSQL Global Development Group. (s.f.). PostgreSQL. Obtenido de https://www.postgresql.org

**[7]** Ramírez, S. (. (s.f.). FastAPI. Obtenido de https://fastapi.tiangolo.com/

**[8]** Cornell Lab of Ornithology. (s.f.). BirdNET. Obtenido de https://birdnet.cornell.edu/

**[9]** PyTorch. (s.f.). Torchvision Models — ResNet. Obtenido de https://docs.pytorch.org/vision/main/models/resnet.html

**[10]** Ultralytics. (s.f.). Ultralytics Docs (ES). Obtenido de https://docs.ultralytics.com/es/

**[11]** iNaturalist. (s.f.). iNaturalist. Obtenido de https://www.inaturalist.org/

**[12]** Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., & Fei-Fei, L. (2009). ImageNet. Obtenido de https://image-net.org/

**[13]** IBM. (s.f.). IBM Think. Obtenido de https://www.ibm.com/think/topics/transfer-learning

**[14]** PyTorch. (s.f.). PyTorch Documentation — torch.nn.CrossEntropyLoss. Obtenido de https://docs.pytorch.org/docs/stable/generated/torch.nn.CrossEntropyLoss.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Desarrollo de un sistema de registro de calificaciones y asistencia con tecnología blockchain (SIRCA)

**Castiglione, Ezequiel**
**De la Fuente, Maximiliano**
**Elias, Yasmin**
**Rocca, Cecilia**
**Soffulto, Araceli**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema de registro de calificaciones y asistencia para una importante facultad regional, de una universidad pública, especializada en ingeniería (a partir de ahora, se la referencia como la "Universidad"), denominado SIRCA, que implementa tecnología blockchain. El proyecto surge de la necesidad de agilizar un mecanismo para la gestión académica y optimizar el acceso a la información por parte de docentes, bedeles y estudiantes. El sistema posibilita a los docentes registrar calificaciones de exámenes finales y asistencia a clases de forma virtual, mientras que los estudiantes pueden consultar su historial de evaluaciones y obtener certificados de sus calificaciones finales de manera inmediata. Añadiendo a lo último comentado, los bedeles pueden cargar la asistencia presencial. La implementación se llevó a cabo a través de una arquitectura web integrada a la red blockchain. La solución se diseñó bajo criterios de usabilidad y escalabilidad, contemplando la posibilidad de incorporar nuevas funcionalidades fácilmente. Entre los beneficios esperados se destacan la reducción de tareas administrativas repetitivas, el acceso rápido a la información académica, y la generación de un antecedente tecnológico que pueda ser replicado en otras universidades.*

**Palabras Clave**
SIRCA, libreta universitaria, blockchain, calificaciones, asistencia.

## Introducción

En el ámbito universitario, la gestión de calificaciones y asistencia constituye un proceso central para el seguimiento académico de los estudiantes. Sin embargo, en muchas instituciones persisten métodos tradicionales basados en registros físicos o sistemas digitales, lo que expone la información a errores humanos. En los últimos años, la tecnología blockchain ha emergido como una alternativa confiable y persistente para el almacenamiento y validación de datos.

En este contexto, se plantea el desarrollo del Sistema de Registro de Calificaciones y Asistencia (SIRCA) para la Universidad, con el objetivo de implementar una plataforma que estandarice de manera digital el proceso de gestión de la validación de identidad al momento de tomar un final y facilite el acceso tanto a docentes como a estudiantes y bedeles. El proyecto busca estandarizar un proceso digital unificado para la carga y consulta de datos académicos reduciendo las tareas administrativas repetitivas.

La utilidad de esta solución se refleja en su potencial para agilizar los procesos de certificación de calificaciones finales y ofrecer un antecedente replicable en otras instituciones de educación superior. No solo eso, si no que su aplicación con blockchain mejora la transparencia, confiabilidad e integridad de la información académica, fortaleciendo la confianza de la comunidad universitaria.

De esta manera, SIRCA no solo transforma una necesidad concreta, sino que también se establece como un paso estratégico hacia la modernización de la gestión académica, generando una educación más eficiente, segura e innovadora.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**1. Definición de los Requerimientos y Riesgos**

La concepción del proyecto SIRCA (Sistema de Registro de Calificaciones y Asistencia) surge como respuesta a diversas problemáticas identificadas en el ámbito académico de la Universidad. En primer lugar, se observó que los mecanismos de toma de asistencia presentaban limitaciones tanto en el contexto de clases presenciales como en el de clases virtuales, dificultando un registro ágil. No solo eso, sino que una vez que el alumno finaliza su examen final, se retira del aula sin un comprobante de su nota final. En segundo lugar, la pandemia de COVID-19 aceleró un proceso de transformación digital en la universidad, tornando obsoletas las libretas universitarias en formato físico y trasladando la gestión académica hacia sistemas digitales. Esta transición generó la necesidad de contar con una herramienta capaz de integrar la gestión de asistencia y calificaciones en un único entorno seguro y accesible para todos los actores del proceso educativo.

Ante este escenario, el equipo de trabajo definió como propósito central del proyecto el desarrollo de una plataforma que permita registrar y consultar tanto la asistencia como las calificaciones de los estudiantes en los exámenes finales, utilizando para ello tecnología blockchain como garante de integridad y trazabilidad. Para alcanzar este propósito se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar una interfaz de usuario para la toma de asistencia de los alumnos: aplicable tanto en clases presenciales como en entornos virtuales.
- Implementar un sistema de validación de identidad de los alumnos al inicio de cada examen final utilizando un código QR que permite validar la identidad del estudiante.
- Integrar el sistema de gestión de exámenes finales con la Blockchain Federal Argentina[1] para registrar de forma inmutable las calificaciones finales de los alumnos dentro de los 10 días hábiles posteriores a la carga por parte del profesor

Una vez definidos los objetivos, el Líder de Proyecto (PM) y el Product Owner (PO) procedieron a identificar los requerimientos funcionales que debía satisfacer la solución.

Estos se detallan a continuación:
- Carga de calificaciones de los alumnos al examen final: El sistema permitirá a los profesores cargar las calificaciones de los alumnos.
- Validación de Identidad del Alumno: El sistema permitirá a los profesores validar a través de un código QR la identidad de un alumno al momento de rendir un examen final.
- Generación de Constancia Digital de Calificación: El sistema generará una constancia digital de la calificación obtenida por un alumno en un examen final
- Integración con el SIU: El sistema se integrará con el Sistema Integral Universitario (SIU) cuando se requiera consumir o impactar datos académicos existentes.
- Toma de asistencia de la cursada presencial: El sistema le permitirá al bedel realizar un control y seguimiento de la asistencia de un alumno durante su cursada.
- Toma de asistencia de la cursada virtual: El sistema le permitirá al profesor realizar un control y seguimiento de la asistencia de un alumno durante su cursada.

Respecto al acceso a la plataforma, se estableció que solo podrán utilizarla usuarios registrados, quienes deberán autenticarse mediante SSO para acceder al menú principal. A partir de la autenticación, el sistema habilita las funcionalidades correspondientes según el rol asignado a cada usuario. En esta primera versión, se definieron tres roles principales: Alumno, Profesor y Bedel. De esta manera, SIRCA busca modernizar y agilizar los procesos de gestión académica y fortalecer la confianza institucional mediante el uso de tecnologías emergentes, estableciendo un precedente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



para la digitalización segura en el ámbito universitario.

Tras la identificación de los requerimientos funcionales, el equipo procedió a definir los requerimientos no funcionales que debía cumplir la solución con el objetivo de alinearse a las necesidades institucionales.

Estos requisitos se establecieron en torno a seis dimensiones principales:
- Seguridad (Autenticación): El sistema garantiza que solo los usuarios autenticados puedan acceder a las funcionalidades correspondientes. El usuario utiliza sus credenciales institucionales actuales para su logueo en el sistema.
- Integridad (Integridad de Datos): El sistema asegura la integridad de los datos de los exámenes y las calificaciones registradas.
- Usabilidad (Interfaz para Profesores, Bedeles y Estudiantes): La interfaz para los profesores para la carga de notas y el registro de exámenes debe ser intuitiva. Lo mismo para los bedeles respecto a la toma de asistencia.Y para el registro de cada alumno y consulta de calificaciones.
- Rendimiento (Tiempo de Respuesta): El tiempo de respuesta del sistema para las operaciones más comunes (por ejemplo, validar identidad, registrar foto, generar constancia) debe ser aceptable para los usuarios. Para las mencionadas, el sistema debe responder en menos de 45 segundos.
- Disponibilidad: El sistema debe estar disponible durante los períodos de cursada y exámenes finales. En el caso de que no se cuente con conectividad a Internet en ese momento, el mismo funciona limitadamente offline e impacta en el sistema una vez que recupera la conectividad.
- Mantenibilidad: El sistema debe ser diseñado de manera que sea fácil de mantener y actualizar en el futuro (esto implica un repositorio común para el código, un nivel de modularidad y expresividad, explicación del código en documentación correspondiente).

En paralelo, se elaboró un análisis de riesgos con el fin de anticipar potenciales factores externos que podrían afectar el proyecto y su implementación. Entre los riesgos más relevantes se identificaron los siguientes:
- Cambios en políticas institucionales o educativas: Puede generar desalineación con nuevas normativas que afecten carga de notas o identidad digital.
- Cambios o restricciones legales en el uso de tecnología blockchain dentro del ámbito educativo
- Inaccesibilidad o baja disponibilidad de los servicios de la Blockchain Federal Argentina (BFA).
- Falta de integración o compatibilidad con sistemas académicos existentes




*Figura 1. Diagrama del Impact Mapping de la solución. Fuente: Grupo 5311.*

La identificación temprana de estos riesgos permite definir estrategias de mitigación adecuadas y dotar al proyecto de un mayor grado de resiliencia frente a imprevistos consolidando así la solidez de la solución propuesta.

**2. Armado de Sistema**

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo bajo un enfoque Ágil adoptando específicamente la metodología Scrum como marco de trabajo. Esta elección respondió a la necesidad de contar con un proceso iterativo e incremental que permitiera gestionar los cambios y adaptaciones surgidos durante la implementación manteniendo al mismo tiempo una comunicación constante entre los miembros del equipo y con los actores institucionales involucrados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Dentro de la organización del equipo, se establecieron roles claramente diferenciados. El Project Manager (PM) asumió la responsabilidad del seguimiento del proyecto, la coordinación de las tareas y la comunicación permanente con el Product Owner (PO), quien se encargó de representar las necesidades y prioridades del usuario final garantizando que las funcionalidades desarrolladas respondieran a los objetivos planteados.

En concordancia con la metodología Scrum, se elaboró un plan de releases, cada uno con una fecha de inicio y finalización predefinida con entregables específicos. Estos entregables incluyeron tanto la documentación técnica y funcional del sistema SIRCA como los distintos módulos que componen la solución. Dichos módulos fueron desarrollados en ciclos sucesivos, permitiendo realizar validaciones tempranas, obtener retroalimentación y ajustar el producto de acuerdo con las necesidades detectadas.

Previo a cada release, el equipo elaboraba el product backlog, que contenía la lista priorizada de funcionalidades, requisitos y tareas a implementar. Posteriormente, estas tareas eran distribuidas entre los miembros del equipo, considerando las capacidades, roles y especializaciones de cada uno.

El seguimiento del avance se realizó mediante reuniones diarias (dailies), en las cuales cada integrante informaba su estado actual de trabajo, los próximos pasos planificados y los posibles impedimentos que pudieran obstaculizar el progreso. Estas instancias resultaron esenciales para fomentar detectar tempranamente problemas y favorecer la colaboración entre los miembros del equipo.

El uso de esta metodología permitió asegurar un desarrollo progresivo lo que redujo los riesgos asociados a la implementación y otorgó flexibilidad para incorporar cambios sin comprometer la calidad del sistema final.

**3. Armado de la solución**

Con el fin de organizar las funcionalidades del sistema y facilitar su desarrollo incremental, el equipo de proyecto definió la solución en torno a cuatro módulos principales: Login, Carga de notas, Toma de asistencia y Blockchain. Esta división modular permite distribuir responsabilidades de manera clara, asegurar la escalabilidad de la solución y garantizar que cada componente pueda evolucionar de forma independiente, favoreciendo la mantenibilidad del sistema. Dentro de cada módulo, podemos encontrar las tecnologías utilizadas a lo largo del todo el sistema. Principalmente, la solución se basó en Angular, Java y Spring Boot.

- Módulo de Login: garantiza que únicamente aquellos actores con credenciales válidas puedan acceder a las funcionalidades habilitadas según su rol.
- Módulo de Carga de Notas: permite a los docentes registrar las calificaciones de los exámenes finales y, en caso de ser necesario, modificarlas dentro del período autorizado.
- Módulo de Toma de Asistencia: facilita el control de asistencia en distintos contextos
- Módulo de Blockchain: asegura la inmutabilidad y trazabilidad de la información académica registrando en la Blockchain Federal Argentina las calificaciones finales de los estudiantes en un plazo no mayor a diez días hábiles.

Para la implementación de estos módulos se adoptó el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador (MVC) debido a su capacidad para organizar y separar responsabilidades de manera estructurada. Este patrón se compone de tres elementos fundamentales:

- Modelo (Model): representa los datos y la lógica de negocio de la aplicación. Es responsable de procesar la información, interactuar con la capa de persistencia y ejecutar las operaciones que garantizan la coherencia de los registros académicos. Su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



función es ofrecer datos consistentes al resto de los componentes.
Vista (View): constituye la capa de presentación encargada de mostrar los datos al usuario y de recibir sus interacciones. No ejecuta lógica de negocio sino que se centra en ofrecer una experiencia intuitiva.
- Controlador (Controller): actúa como intermediario entre la vista y el modelo. Recibe las solicitudes de la interfaz de usuario, las traduce en acciones sobre el modelo y actualiza la vista con los resultados obtenidos. De esta forma, asegura la correcta sincronización entre la lógica de negocio y la representación visual.

La adopción del patrón MVC no solo facilita la comprensión y el mantenimiento del código sino que también permite una mayor flexibilidad al momento de realizar modificaciones o incorporar nuevas funcionalidades sin comprometer la estabilidad del sistema existente.

Dentro de los patrones de diseño de software, el equipo consideró oportuno implementar Singleton, Observer, Strategy y Factory. Estos fueron seleccionados en función de las necesidades específicas de la solución y de la búsqueda de un sistema escalable, modular y mantenible.

El patrón Singleton asegura la existencia de una única instancia de una clase determinada y proporciona un punto de acceso global a la misma. Su aplicación en el proyecto se definió para los controladores de configuración y el manejo de registros de actividad (logs), en los que resulta indispensable contar con una única instancia que coordine el comportamiento del sistema.

El patrón Observer fue incorporado con el propósito de monitorear la carga y corrección de calificaciones. De esta forma se habilita la posibilidad de disparar procesos posteriores de manera automática. Un ejemplo concreto de su aplicación es la detección de la finalización del plazo de diez días tras la carga de la nota de un examen final, lo que activa el proceso de registro de la calificación en la Blockchain Federal Argentina (BFA).

El patrón Strategy se aplicó en la capa de backend con el objetivo de definir comportamientos intercambiables de forma flexible. Entre sus usos se encuentran la implementación de distintos mecanismos de validación de identidad de los alumnos. Este patrón permite modificar comportamientos sin necesidad de alterar la estructura general de la aplicación.

Finalmente, el patrón Factory se utilizó para la creación de objetos que representan notas desacoplando la lógica de negocio de las clases concretas. Este patrón centraliza la instanciación de objetos favoreciendo la extensibilidad y escalabilidad del sistema. Cada clase derivada puede definir una implementación particular sin alterar la arquitectura general.. El uso del patrón Factory aporta beneficios en términos de modularidad y reutilización del código.

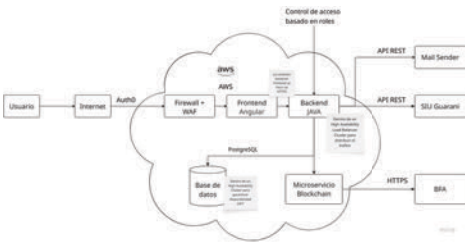



*Figura 2. Diagrama de arquitectura general de la solución. Fuente: Grupo 5311.*

La solución contempla la integración con distintos servicios externos. En primer lugar, se establecerá conectividad con el Sistema Integral Universitario (SIU), lo que permitirá la interoperabilidad con los sistemas académicos ya existentes en la institución. En segundo lugar, se implementa la vinculación con la Blockchain Federal Argentina (BFA), utilizada para registrar de manera inmutable las calificaciones finales. Asimismo, el sistema se conecta con un servicio de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mensajería electrónica, encargado de enviar automáticamente al estudiante el certificado digital correspondiente a la nota obtenida en cada examen final

Para la interacción con estos servicios externos se utilizan protocolos seguros de comunicación, particularmente HTTPS, junto con las APIs específicas de cada plataforma. De esta manera se garantiza la confidencialidad en la transmisión de datos y se facilita la integración modular de la solución con sistemas de terceros.

En lo que respecta a la persistencia de datos, la arquitectura se apoya en bases de datos de tipo relacional, lo cual permite organizar y estructurar la información académica de manera consistente. Este aspecto será abordado en detalle en la siguiente sección.

Se implementó un repositorio centralizado en el cual se aloja el código fuente del proyecto. Este repositorio permite gestionar versiones y documentar los ajustes realizados.

## 4. Capas de la solución

El proyecto SIRCA cuenta con la presencia de 4 capas: la capa de cliente, capa de integración, capa de aplicación y capa de datos, tal como se puede ver en la figura 3.

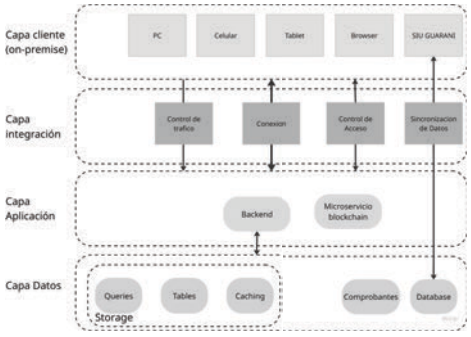



*Figura 3. Modelo de capas de la solución. Fuente: Grupo 5311.*

La capa cliente está compuesta por los usuarios finales quienes acceden al sistema desde distintos dispositivos como PC, notebooks, tablets o smartphones. A través de interfaces web responsivas pueden validar su identidad, cargar o consultar calificaciones y registrar asistencias.

La capa de integración asegura la comunicación eficiente entre clientes y servicios internos. Incluye mecanismos de control de tráfico mediante API Gateway o balanceadores para prevenir sobrecargas, gestión de acceso con autenticación y autorización por roles.

El núcleo de la solución se encuentra en el backend, desarrollado en Java con Spring Boot, que expone una API REST para validar usuarios en integración con Auth0, registrar asistencias y calificaciones, y generar constancias digitales. Complementariamente, se incorpora un microservicio de Blockchain conectado a la BFA encargado de registrar de forma inmutable las calificaciones finales.

Por último, en la capa de datos está presente la persistencia de la información se gestiona en PostgreSQL, donde se almacenan usuarios, calificaciones y asistencias bajo estrictas políticas de integridad, encriptación y respaldos periódicos. La capa también contempla un repositorio de comprobantes digitales, mecanismos de caching para operaciones offline, y un almacenamiento adicional en la nube para datos no estructurados.

## 5. Despliegue de la solución

El despliegue de la solución se llevó a cabo en un entorno cloud sobre Amazon Web Services (AWS). La decisión de optar por la nube respondió a la necesidad de garantizar alta disponibilidad durante los períodos de mayor demanda, como en las jornadas de exámenes finales donde se concentran operaciones simultáneas de carga de notas y validación de asistencia. AWS ofrece servicios que permiten desplegar la aplicación en clústeres con balanceo de carga automático de modo que las solicitudes de los usuarios puedan

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



distribuirse entre múltiples instancias de servidores.

El uso de balanceadores de carga fue esencial para sostener la performance y la disponibilidad del sistema. Estos componentes gestionan el tráfico entrante y lo reparten de manera equitativa entre los servidores de aplicación evitando caídas por exceso de solicitudes y permitiendo que nuevas instancias puedan incorporarse dinámicamente si la demanda lo requiere. Al mismo tiempo, la arquitectura basada en clústeres garantiza que el sistema pueda operar en modo redundante: si una instancia presenta fallas, otra puede asumir su rol sin interrumpir el servicio.

En términos de seguridad, AWS ofrece servicios de autenticación federada, cifrado de datos y cumplimiento de estándares internacionales, lo que complementa la integración con Auth0 para el control de accesos. En materia de disponibilidad, la escalabilidad horizontal asegura continuidad de operación sin importar el volumen de usuarios concurrentes. Respecto a la eficiencia, el uso de caching distribuido y procesamiento asincrónico optimiza el consumo de recursos y garantiza tiempos de respuesta adecuados en la validación de identidad y en la carga de información crítica.

Los mecanismos de backup automatizados en Amazon RDS fortalecen la continuidad de negocio permitiendo recuperar datos frente a fallas operativas o ataques.

En síntesis, el despliegue sobre AWS con balanceadores de carga y clústeres no solo atendió a requerimientos técnicos inmediatos, como la escalabilidad y la tolerancia a fallas sino que también reforzó atributos de calidad esenciales para un sistema crítico en el ámbito académico, tales como seguridad, disponibilidad, integridad, mantenibilidad y portabilidad.

## Conclusión y Trabajos Futuros

El desarrollo del sistema SIRCA representa un avance significativo en la modernización de la gestión académica al introducir una solución integral basada en tecnología blockchain para el registro de calificaciones y asistencia.

A pesar de este aporte, el trabajo presenta algunas limitaciones menores, como la dependencia tecnológica respecto a la disponibilidad de la Blockchain Federal Argentina o la falta de integración completa con los sistemas existentes, como SIU-Guaraní.

No obstante, entre los principales aportes del proyecto se destacan la automatización de procesos que anteriormente dependían de validaciones manuales, la digitalización de la libreta universitaria y la generación de constancias verificables por medios electrónicos.

Entre los trabajos futuros se plantea avanzar en la integración plena con plataformas académicas de uso nacional, optimizar la funcionalidad offline del sistema y extender la utilización de blockchain a otras dimensiones de la gestión universitaria. SIRCA es un paso firme hacia una universidad más preparada para el futuro.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por el apoyo institucional brindado, y a los docentes y estudiantes que colaboraron en las pruebas y validación del sistema.

**Referencias**

[1] Arndt, F., Guazzelli, C., & García, C. Aplicaciones de la tecnología blockchain en el sector educativo. Revista de Tecnología e Innovación, Vol. 15, N.º 2, 2021.

[2] Amazon Web Services. AWS Well-Architected Framework. Whitepaper técnico, 2023. Disponible en: https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected

[3] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, 1994.

[4] Scrum.org. The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum. Ken Schwaber & Jeff Sutherland, 2020. Disponible en: https://scrumguides.org/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[5] Blockchain Federal Argentina. Portal institucional. Disponible en: https://bfa.ar/

**Datos de Contacto**

*En orden en el que aparecen en la primer página del documento:*

- *Ezequiel Castiglione. Estudiante de la UTN FRBA. ecastiglione@frba.utn.edu.ar*
- *Maximiliano de la Fuente. Estudiante de la UTN FRBA. madelafuente@frba.utn.edu.ar*
- *Yasmín Elías. Estudiante de la UTN FRBA. yelias@frba.utn.edu.ar*
- *Araceli Soffulto. Estudiante de la UTN FRBA. asoffulto@frba.utn.edu.ar*
- *Cecilia Rocca. Estudiante de la UTN FRBA. crocca@frba.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Innovación en Seguridad Automotriz: Un Sistema Embebido con IA para la Detección y Frustración de Robo de Vehículos

**Escobar Ramiro Tomás**
**Formaggio Ezequiel Luciano**
**Pollola Mariano**
**Rivitti Marcos**
**Zalazar Martina**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*La problemática global del robo de vehículos demanda soluciones innovadoras y proactivas que trasciendan los mecanismos de seguridad convencionales, buscando salvaguardar la integridad de los conductores y sus bienes. Este trabajo propone el desarrollo de un sistema embebido en el vehículo que, mediante el reconocimiento facial del conductor, tiene como objetivo principal impedir el uso no autorizado del automotor de manera totalmente automática.*
*Para ello, se concibió un sistema basado en una Raspberry Pi que integra una cámara para capturar el rostro del conductor y un módulo de reconocimiento facial que procesa su identidad.*
*En caso de no detectar un conductor autorizado, se considera que el vehículo ha sido sustraído de su dueño, por lo cual, una vez que se alcanza una distancia segura desde donde se detectó el hecho, (para mantener la integridad física del propietario ante posibles represalias de los delincuentes), y el vehículo está circulando a una velocidad lo suficientemente baja para no ser peligroso, el sistema procede a impedir la aceleración del mismo, manteniendo la posibilidad de maniobrar la dirección y el freno.*
*Esto lo posiciona como un avance prometedor para la reducción de costos en aseguradoras y la protección vehicular.*

**Palabras Clave**
Reconocimiento Facial, Seguridad Vehicular, Frustración de Robo, Conductor Autorizado, Inteligencia Artificial

## Introducción

En la actualidad, la creciente inseguridad urbana y el alarmante índice de robo de vehículos representan un desafío crítico para la sociedad, dado que en Argentina en 2024 se iniciaron 103.609 expedientes por robos de vehículos (autos, motos, camionetas, camiones con cobertura de seguro), frente a 91.574 en 2023. Esto representa un aumento del 13% [1].
Por otra parte, la evolución de las técnicas de robo [2] demanda respuestas tecnológicas que superen los sistemas de protección tradicionales, haciendo imperativa la innovación en mecanismos antirrobo proactivos.
Los sistemas de seguridad vehicular existentes a menudo se limitan a alarmas o rastreadores que actúan post-robo, sin ofrecer una capacidad efectiva de prevención o frustración del delito en curso. Esto deja una oportunidad para crear mecanismos que permitan actuar sobre la protección del conductor y el vehículo en el momento crítico de una intrusión o robo.

Ante este panorama, el presente trabajo introduce VIGICAR, un sistema inteligente de reconocimiento facial diseñado para operar como una solución embebida en el vehículo.

A lo largo de este documento, se detalla la arquitectura del sistema propuesto y sus componentes principales.

## Desarrollo

Expuesta la problemática existente en la actualidad, el objetivo del proyecto es desarrollar un sistema inteligente de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



reconocimiento facial embebido en el automotor, capaz de prevenir el uso no autorizado mediante la intervención controlada del acelerador, priorizando la seguridad del propietario y la operatividad del vehículo. Aunque cabe aclarar que una de las limitaciones que planteamos para el sistema es que será diseñado para unidades que tengan aceleración electrónica, dejando fuera aquellos con aceleración mecánica.

*Para poder lograr esto nos planteamos los siguientes objetivos Específicos*:

- Implementar un módulo de reconocimiento facial con funcionamiento local, independiente de servidores externos.
- Establecer un mecanismo seguro de desactivación del acelerador tras una distancia y velocidad determinadas.
- Diseñar una aplicación móvil para gestión de usuarios, notificaciones y consulta de siniestros.
- Garantizar la operación offline del sistema ante inhibidores de señal.
- Proteger los datos biométricos mediante algoritmos de cifrado.

Con esto en mente se planteará la arquitectura de "VIGICAR", una solución que se fundamenta en una integración hardware-software.

El funcionamiento de la solución va a constar de los siguientes módulos principales:

1. *El módulo de reconocimiento de imágenes para reconocimiento facial, con procesamiento local y seguridad de datos*

   Uno de los pilares fundamentales del sistema VIGICAR es el módulo de procesamiento local basado en Raspberry Pi, el cual cumple funciones críticas en el reconocimiento facial y la gestión de datos sensibles. Este módulo fue seleccionado por su capacidad de operar de forma autónoma, sin necesidad de conexión constante a servidores externos, lo que permite cumplir con los principios establecidos por la Ley de Protección de Datos Personales [3].

   El reconocimiento facial se realizará íntegramente en el dispositivo embebido, utilizando un algoritmo de deep learning, específicamente usando la librería oficial de python face-recognition 1.3.0 [4], el cual genera vectores de características únicos para cada rostro que dan una eficacia del 99.38% en reconocimientos.
   Además consideraremos agregar un dispositivo junto a la cámara que emite luz infrarroja para no afectar la capacidad de reconocimiento del sistema bajo condiciones de luz desfavorables. Este enfoque permite comparar rostros de manera precisa y eficiente, sin necesidad de enviar imágenes a servidores externos.

   En cuanto a la comunicación con el backend, aunque el procesamiento principal se realiza localmente, el módulo Raspberry Pi mantiene una comunicación segura con un servidor backend externo para dos funciones específicas:

   - *Actualización de la base de datos local:* Permite incorporar nuevos rostros autorizados al sistema, enviados desde la aplicación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



móvil por el propietario del vehículo.

- *Reporte de ubicación y eventos:* En caso de detectar un conductor no autorizado, el módulo envía la posición geográfica del vehículo y el rostro capturado al backend, siempre que exista conectividad 4G disponible.

En cuanto a su seguridad y autonomía, destacamos que en situaciones donde se detecten inhibidores de señal, el módulo está preparado para operar completamente offline, ejecutando protocolos de seguridad predefinidos sin depender de la red. Además, los datos biométricos se almacenan cifrados en la memoria local del dispositivo, sin ser compartidos con terceros, reforzando el compromiso del sistema con la protección de la identidad del usuario.

2. *El módulo de control del acelerador:*

Los aceleradores de vehículos tienen terminales de alimentación 5V y terminales de voltaje de salida variable, este último valor le indica a la computadora central del vehículo o ECU (Engine Control Unit), la cantidad de aceleración que debe entregar el vehículo según la posición del pedal, el objetivo de este módulo es, cuando se detecte un conductor no autorizado, interrumpir la comunicación normal entre la ECU y esta salida de voltaje variable, dejando emitida solo una señal fija de voltaje mínimo para que la ECU no interprete esto como una falla.
Este dato es relevante para nuestro mecanismo de detención del auto, puesto que si el voltaje fuese cero, en la ECU se registraría un evento de falla por desconexión del pedal). Por esto tomamos la decisión de manipular el módulo acelerados para que emita una señal mínima, lo que resulta en que, por más que el usuario accione el pedal de aceleración, la ECU no va a recibir esta variación de señal, simulando que el pedal de aceleración no se acciona y está estable en su posición inicial.

Esto no detiene el motor del auto y permite que el sistema de frenado y de dirección funcionen normalmente, haciendo posible maniobrar el vehículo mientras este desacelera.

3. *El módulo de comunicación 4G*

Este módulo es un dispositivo hardware USB con tarjeta SIM integrada que va a cumplir la función de ser el nexo entre el hardware que va a funcionar dentro del vehículo y los módulos externos al mismo como el backend y por consecuente el frontend al que van a acceder los usuarios desde sus dispositivos móviles o mismo los usuarios puestos como otros conductores autorizados o contactos de emergencia en caso de un incidente. Es decir, este dispositivo va a permitir la gestión de las acciones que realice el hardware desde la aplicación externa y, no menos importante, va a ser el responsable de transmitir la ubicación geográfica del automóvil

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en caso de que ocurra algún incidente o sea solicitada por el usuario desde la aplicación.

4. *El módulo de servidor Backend para la gestión de comunicaciones con la aplicación móvil y los dispositivos instalados en los vehículos:*

   Un servidor externo será el encargado de gestionar las peticiones de la aplicación móvil, a través de la cual se podrán realizar altas, bajas y modificaciones de usuarios, así como también de vehículos. Además, permitirá consultar los siniestros en caso de haberse producido.
   Por otro lado, cada módulo instalado en los vehículos tendrá la capacidad de comunicarse con el servidor para registrar siniestros.

   Tanto la comunicación de la aplicación móvil como la comunicación de los dispositivos instalados en los vehículos con el servidor externo se llevará a cabo respetando el protocolo HTTPS mediante una arquitectura basada en API REST.

   Sobre el Backend:

   Arquitectura lógica: El sistema presenta una arquitectura en capas bajo el patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC), desarrollada principalmente en el lenguaje Java utilizando el framework Spring Boot y el gestor de paquetes Maven. Cuenta con una capa de persistencia relacional para almacenar los datos de dominio.
   El proyecto se despliega mediante contenedores utilizando Docker.

   Arquitectura física: El servidor se aloja en Google Cloud Platform (GCP) y se replica para garantizar alta disponibilidad del servicio. Además, se implementa un balanceador de carga, Google Cloud Load Balancer, para mejorar la escalabilidad del sistema.
   En cuanto a la persistencia de datos, se utiliza Cloud SQL para los datos de dominio, el cual también es un servicio de GCP, y se realiza un backup periodico de los datos.

   Seguridad: Para realizar cualquier consulta a la API del servidor es necesario estar autorizado. Esta autorización se gestiona mediante Auth0, implementado con librerías de Google. Los datos sensibles relacionados con el proyecto se protegen utilizando Docker Secrets.

   Control de versiones: Se utiliza Git como sistema de control de versiones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



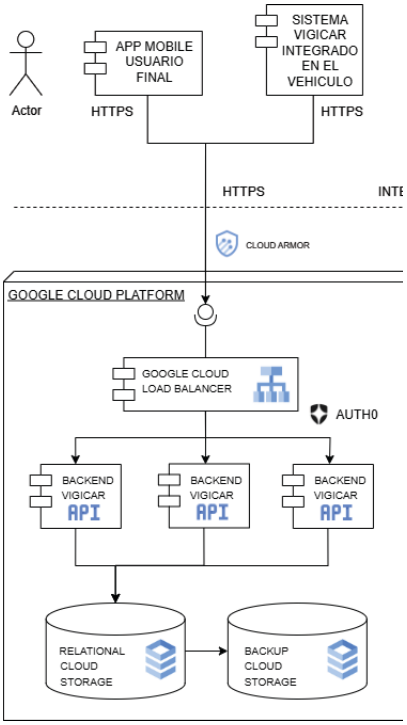



Figura 1.0

5. *La interfaz de usuario móvil para gestión de conductores y siniestros*.

   Este módulo va a ser la cara visible del sistema hacia el usuario dueño de un vehículo determinado.
   Por medio de esta interfaz se definió que el cliente de la misma va a poder realizar las siguientes acciones:

   - Iniciar sesión vinculando el dispositivo con su cuenta de google gracias a la autenticación de Auth0.
   - Cargar contactos de emergencia en caso de que ocurra un incidente.
   - Dar de alta, de baja o modificar a los conductores autorizados para el vehículo.
   - Recibir la ubicación del vehículo que tiene asociado.
   - Responder ante la notificación de un incidente, pudiendo ante la misma descartarla (lo que ocurriría en caso de que ocurra un falso positivo) o confirmar la situación dejando que el módulo de hardware instalado en el dispositivo siga su curso y accione el mecanismo de frenado.

   Para el desarrollo de esta sección de la solución se definió trabajar con una tecnología vigente en el mercado y de fácil integración con nuestro backend Java por lo que se decidió Kotlin como lenguaje de programación para un desarrollo móvil nativo en Android como sistema operativo.

   En función de esclarecer lo descrito anteriormente se incluyen los diagramas de arquitectura de alto nivel relevantes para ilustrar el funcionamiento esperado por el sistema

1. Diagrama de arquitectura sobre los diferentes módulos:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



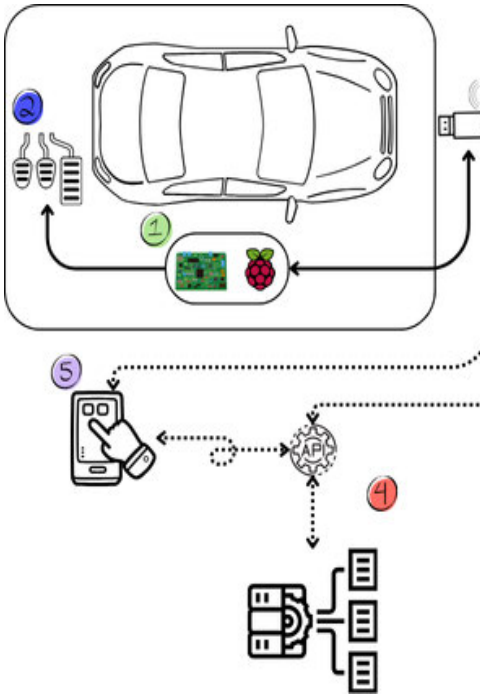



Figura 2.0

2. Diagrama de arquitectura entre componentes instalados en el vehículo:

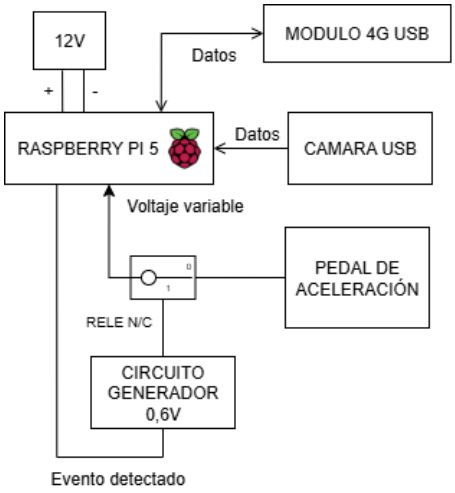



Figura 3.0

***Flujo de Operación planteado***

El foco del sistema planteado está en su capacidad de diferenciar entre usuarios autorizados y no autorizados y actuar en consecuencia en cada caso. Por esto se definió la forma en la que se espera que actúe el sistema en la etapa funcional.

1. La cámara capta imágenes del conductor cada 1 segundo.

2. El reconocimiento facial se realiza localmente, sin conexión a internet.

3. Si el rostro no coincide, se realizan reintentos durante 1 minuto.

4. Confirmada la anomalía, el sistema va a seguir el flujo del siguiente diagrama, recalcando igualmente que en ningún momento se va a afectar el control de la dirección y el uso del freno, pos de evitar accidentes:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



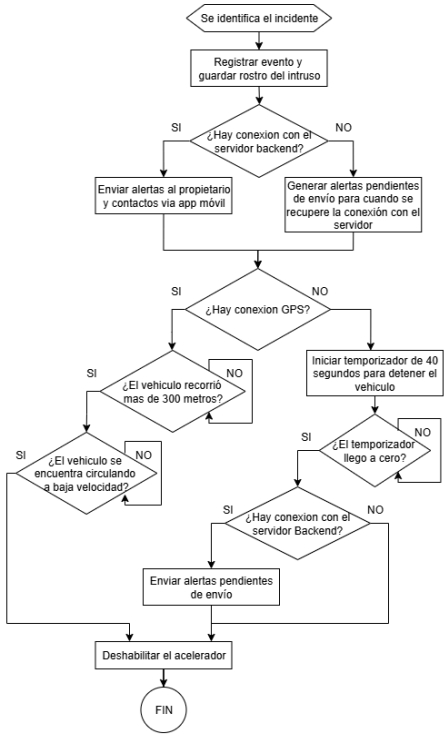



Figura 4.0

Es importante destacar que el sistema va a estar preparado para funcionar incluso ante la presencia de inhibidores de señal, bastante usados y conocidos por delincuentes, ya que si la comunicación 4G falla, la ubicación geográfica del vehículo y la comunicación con el servidor no podrán llevarse a cabo, lo cual activa un mecanismo secundario de detención del vehículo determinado por un tiempo prudente transcurrido el hecho.

Así también, los datos sensibles del conductor serán almacenados en la memoria local en el dispositivo embebido en el vehículo y no se compartirán con el servidor ni con ningún otro módulo externo.

La puesta en marcha del producto contempla una implementación gradual en tres etapas:

1. **Entorno controlado**, donde se validan los módulos de software
2. **Pruebas en un prototipo de vehículo**, para verificar la integración y robustez en condiciones similares a las reales
3. **Despliegue final y monitoreo**, que incluye la instalación física y la recopilación de retroalimentación para futuras mejoras, priorizando siempre la seguridad y la no invasividad.

**Trabajos Relacionados**

Diversos estudios han explorado el uso de reconocimiento facial en seguridad vehicular, destacando su potencial para autenticar conductores. De lo mismo encontramos varios proyectos similares, a partir de los cuales destacamos algunos especialmente similares

El trabajo que subió tiene como supervisor al profesor Tayan (2024) [Vehicle Anti-Theft Facial Recognition System] [5] propone un enfoque IoT con verificación facial, aunque depende de conectividad permanente, lo que limita su efectividad ante inhibidores.

Elngar y Kayed (2020) [Vehicle Security Systems using Face Recognition based on IoT] [6] presentan un sistema similar, pero orientado a control de encendido, no a bloqueo seguro del acelerador.

Ahmed et al. [Vehicle Anti-Theft Face Recognition System Based on IoT using Raspberry Pi4] (2024) [7] plantean una arquitectura comparable, pero sin mecanismos de redundancia offline.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Otros trabajos, como Real Time Vehicle Security System through Face Recognition (2023) [8], priorizan alertas en tiempo real, pero no implementan una acción correctiva directa como la desactivación segura del acelerador.

Como conclusión de la investigación sobre otros trabajos sacamos que la principal innovación de VIGICAR radica en la operación autónoma sin internet (lo cual asegura que el sistema hardware que opera en el automóvil siga funcional asegurando resiliencia ante ataques comunes como inhibidores de señal), la intervención física segura y la integración de notificaciones con control desde app siendo este un punto relevante y diferencial dado que en general los trabajos investigados no plantean este enfoque más integral para el usuario. .

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Este trabajo de fin de carrera ha abordado el desafío crítico de la inseguridad vehicular mediante el desarrollo de VIGICAR, un sistema inteligente de reconocimiento facial que previene y frustra el robo de vehículos de manera eficaz y segura.

El presente proyecto busca hacer un avance en la investigación sobre la viabilidad de integrar tecnología de reconocimiento facial embebida en el vehículo para una autenticación de conductor casi en tiempo real, lo podría traducirse en una mitigación significativa del daño económico y un aumento sustancial de la seguridad personal frente a un robo. Este sistema no solo ofrece una solución innovadora a un problema persistente de seguridad urbana, sino que también sienta las bases para futuros desarrollos en la integración de inteligencia artificial y control adaptativo en vehículos, promoviendo ecosistemas de transporte más seguros e inteligentes.

Si bien los resultados son prometedores, se reconocen ciertas limitaciones, como la dependencia de un pedal de acelerador electrónico (drive-by-wire) y la necesidad de condiciones ambientales razonables de luz para el reconocimiento facial. Como trabajo futuro, se podría explorar la integración con otras funcionalidades de seguridad del vehículo, como el sistema de encendido, y la adaptación a condiciones de iluminación más adversas. Este proyecto representa un paso significativo hacia una movilidad más segura, demostrando el potencial de la ingeniería en sistemas para proteger a las personas y sus bienes en un entorno urbano cada vez más desafiante.

**Referencias**

[1] G. Carabajal, “Aumentó 13 por ciento el robo de vehículos y la mayoría de los casos fueron asaltos con armas,” La Nación, 14 abril 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.lanacion.com.ar/seguridad/aumento-13-por-ciento-el-robo-de-vehiculos-y-la-mayoria-de-los-casos-fueron-asaltos-con-armas-nid12042025/

[2] “La silenciosa modalidad de robo de autos que pone en alerta a los conductores,” La Nación, 16 abril 2024. [En línea]. Disponible en: https://lanacion.com.ar/autos/la-silenciosa-modalidad-de-robo-de-autos-que-pone-en-alerta-a-los-conductores-nid16042024

[3] República Argentina, “Ley 25.326: Protección de los datos personales,” Boletín Oficial, 4 oct. 2000. [En línea]. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25326-64790/texto

[4] face-recognition, “Face Recognition library,” Python Package Index (PyPI), 2025. [En línea]. Disponible en: https://pypi.org/project/face-recognition/

[5] Y. Al-Harbi, A Al-Sharif, F. Al-Ahmadi, J. Sherbini, S. Bakhsh, “Vehicle Anti-Theft Facial Recognition System,” Technical Report, Department of Cyber Security and Forensic Computing-University of Prince Mugrin, Al Madinah Al Munawara KSA, Medina, Saudi Arabia, 2024. doi: 10.13140/RG.2.2.22789.97769

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[6] A. Elngar, M. Kayed, "Vehicle Security Systems using Face Recognitionbased on Internet of Things", Faculty of Computersand Artificial Intelligence - Beni-Suef University, Beni-Suef, Egypt, 2020. doi: 10.1515/comp-2020-0003

[7] Z. Ali Khan, S. Karim2, D Syed, "Vehicle Anti-Theft Face Recognition System Based on IoT using Raspberry Pi4", Journal of Information & Communication Technology - JICT Vol. 16 Issue. 2, 12/2022, https://www.researchgate.net/publication/385751534_Vehicle_Anti-Theft_Face_Recognition_System_Based_on_IoT_using_Raspberry_Pi4

[8] C. Nandakumar, G. Muralidaran and N. Tharani, "Real Time Vehicle Security System through Face Recognition", International Review of Applied Engineering Research. ISSN 2248-9967 Volume 4, Number 4 (2014). pp. 371-378, 2014, https://www.ripublication.com/iraer-spl/iraerv4n4spl_12.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Verificación Práctica de una Arquitectura de Inteligencia de Negocios en Educación Superior. Caso de Estudio en un Departamento de Educación a Distancia

**García Mendoza, Adolfo Exequiel**
**Mg. Lic. Romagnano, María Gema (Asesora)**
{garcia.exe, maritaroma}@gmail.com

***Universidad Nacional de San Juan, Instituto de Informática***

**Abstract**

*La toma de decisiones estratégicas basadas en datos es crucial para el crecimiento y mejora continua de las instituciones de educación superior. Sin embargo, las decisiones frecuentemente se realizan sin aprovechar plenamente la información disponible. Este trabajo aborda la optimización de este proceso mediante el diseño e implementación de una Arquitectura de Sistema de Inteligencia de Negocios (BISA) integrada con el Sistema de Gestión de Aprendizaje (LMS) en una institución de San Juan, Argentina.*

*Estudios previos han propuesto marcos de BISA con capas esenciales y demostrado los beneficios de paneles de control basados en Inteligencia de Negocios (BI) para analizar datos universitarios y respaldar decisiones en áreas clave. En Latinoamérica, diversas universidades han desarrollado Sistemas de BI (BIS) para gestión académica, utilizando metodologías como Ralph Kimball. En Argentina, el Sistema de Información Universitaria (SIU) ha permitido generar datos de calidad que, analizados adecuadamente, brindan información valiosa para decisiones basadas en hechos medibles.*

*Este estudio, desarrollado como trabajo final de grado en Licenciatura en Sistemas de Información, adopta un enfoque cualitativo y diseño intervencionista. Propone una arquitectura que integra BIS con la plataforma Moodle del Departamento de Educación a Distancia, permitiendo acceder a información sobre desempeño estudiantil, eficacia de cursos y gestión de incidentes tecnopedagógicos. La implementación utilizó la metodología Ralph Kimball, PostgreSQL como almacén de datos y Power BI para visualización, resultando en un dashboard funcional que facilita la toma de decisiones estratégicas basadas en datos en tiempo real.*

**Keywords:** Arquitectura, Decisiones, Inteligencia de Negocios, Educación Superior, LMS Moodle, Power BI.

## Introducción

La toma de decisiones estratégicas basadas en datos, es crucial para el crecimiento y mejora continua de las instituciones de educación superior. Sin embargo, a menudo las decisiones se realizan sin aprovechar plenamente la información disponible. Actualmente, los sistemas de información de las instituciones educativas de nivel superior, generan grandes volúmenes de datos relacionados con sus diversas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



actividades, tanto académicas como administrativas. En general, estos datos no son aprovechados de manera óptima y cómo insumo para la toma de decisiones en los niveles estratégico, táctico y operacional.

Los Sistemas de Información o Information System (IS), se consideran como la espina dorsal de las organizaciones, sobre el que se vertebran los BIS [1]. Por lo tanto, la integración de Inteligencia de Negocios (BI) y Analítica del Negocio (BA) a los IS institucionales, provee de información y conocimiento para predecir, quizás prescribir, y luego tomar certeras decisiones.

Consecuentemente, la aplicación e integración de técnicas y herramientas de BI y BA a los IS de una Institución de Educación Superior (IES), permitiría contar con una visión integral del desempeño, realizar un análisis pormenorizado, y definir políticas de acción tendientes a brindar una mejor calidad educativa.

El presente estudio de investigación se desarrolla como tesina de grado en el marco del proyecto “Tecnologías 4.0 para asistir a la toma de decisiones en organizaciones regionales”. Partiendo de la propuesta inicial presentada por García y Romagnano [2], este trabajo la expande y profundiza para diseñar una BISA capaz de apoyar la toma de decisiones estratégicas en una institución de educación superior.

A continuación, se describe cómo se construyó la BISA para el Departamento de Educación a Distancia (DEaD), estructurado en fases de evaluación de madurez, análisis de requerimientos y aplicación de la **metodología Ralph Kimball** [3], para optimizar la gestión de incidentes y reclamos.

El desarrollo de la propuesta se estructuró en tres etapas principales:

**1. Evaluación del Nivel de Madurez de BI**:

- Se evaluó el nivel de madurez de los BIS existentes en la institución mediante el Modelo de Madurez de Inteligencia Empresarial (EBIM), al cual se le añadió un aspecto de seguridad de la información.
- El análisis determinó que el DEaD se encontraba en un nivel inicial (nivel 2) de madurez en la mayoría de los aspectos. Una adaptación del modelo EBIM, incluyendo este nuevo aspecto, se presenta en la Figura 1.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



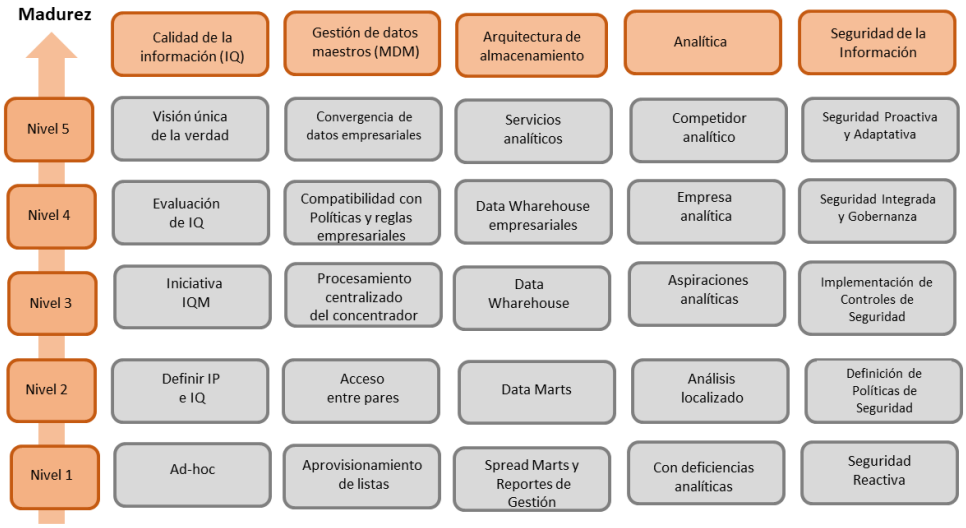



*Figura 1: Adaptación del Modelo "The Enterprise Business Intelligence Maturity (EBIM)". Fuente: Tan, Sim & Yeoh, (2011)*

**2. Análisis de Requerimientos y Necesidades de Información**:

- Se analizaron los requerimientos y necesidades de información, tanto a nivel estratégico como operacional del DEaD, a través de entrevistas con el jefe del departamento y encuestas a operadores y administradores de la plataforma Moodle.

**3. Definición de la Metodología BI a Implementar**:

- Se optó por la metodología de Ralph Kimball para la propuesta de una arquitectura tradicional que soporte una solución BI. Esta elección se basó en su enfoque empírico y metodológico, idóneo para implementaciones de almacenes de datos que parten de un Data Mart, concentrándose en áreas y procesos individuales.
- Entre sus ventajas, se destaca el menor uso de espacio en la base de datos, la simplificación de la administración del sistema y la recuperación rápida de datos mediante la segregación en tablas de hechos y dimensiones.
- En este trabajo, solo se desarrollan las etapas de la metodología relacionadas con el diseño de la arquitectura (Figura 2).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



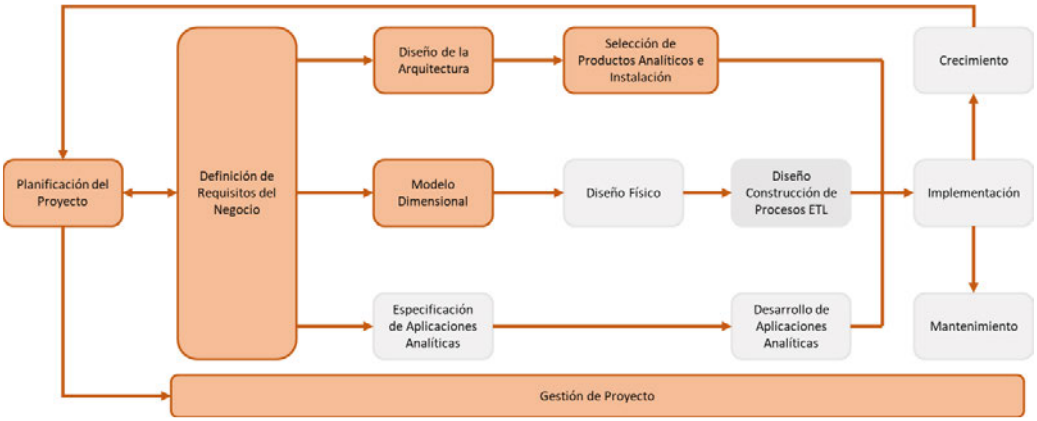



*Figura 2: Adaptación del ciclo de vida de Ralph Kimball. Fuente: Kimball, Ross, Mundy, & Thornthwaite (2008).*

El desarrollo de la Metodología Ralph Kimball**)** incluyó las siguientes etapas:

- **Etapa de Planificación de Proyecto**:
  - El objetivo general fue proponer el diseño de una BISA sobre un Sistema de Gestión del Aprendizaje (SGA) para asistir en las decisiones estratégicas de supervisión del DEaD.
  - El alcance se centró en la necesidad del DEaD de analizar históricamente los reclamos e incidentes tecnopedagógicos de las Unidades Académicas (UA), proponiendo un Data Mart poblado desde informes de Moodle y el Sistema de Gestión Virtual. Esto permitiría identificar patrones recurrentes, implementar soluciones preventivas y optimizar la asignación de recursos humanos.
  - Se asignaron roles clave (Jefe de proyectos, Arquitecto técnico, etc.) a una única persona, y se estableció un plan de proyecto con actividades y duraciones sugeridas.

- **Etapa de Definición de Requerimientos**:
  - Se realizaron entrevistas al jefe del DEaD, lo que permitió generar la Matriz de Procesos y Dimensiones Se identificaron seis procesos de negocio clave: Gestión de Plataforma, Gestión de Usuarios, Gestión Académica, Gestión Pedagógica, Gestión de Incidentes y Gestión de Reclamos.
  - Se documentaron ocho requerimientos funcionales específicos para la gestión de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



incidentes y reclamos, incluyendo la cantidad de incidentes/reclamos recibidos y resueltos, el porcentaje de resolución, el tiempo de resolución, el índice de satisfacción del usuario y un reporte.

- **Etapa de Diseño del Modelo Dimensional**:
  - Se siguió un proceso de cuatro pasos:

    **1. Elegir el proceso de negocio:** Se priorizaron la gestión de incidentes y reclamos.

    **2. Declarar la granularidad:** Se definió una granularidad baja para los incidentes y/o reclamos, ya que los requerimientos no solicitaban un nivel de detalle profundo en su resolución.

    **3. Identificar las dimensiones:** Se detallaron ocho dimensiones: Cliente Plataforma, Estado, Tipo, Tiempo, Unidad Académica, Carrera, Materia y Rol.

    **4. Identificar los hechos:** Inicialmente se consideraron tablas de hechos separadas para incidentes y reclamos. Sin embargo, se decidió unificarlas en una sola tabla de hechos denominada Hechos_AtencionCliente para simplificar el modelo, cumplir con el requerimiento de un reporte combinado, garantizar consistencia, facilitar el análisis, optimizar el almacenamiento y brindar flexibilidad a futuros requerimientos.
  - Finalmente, se elaboró un modelo dimensional de alto nivel que representa la interconexión entre las dimensiones y la tabla de hechos.

- **Etapa de Diseño de la Arquitectura**:
  - Se aplicó un proceso de diseño de arquitectura de ocho pasos, basado en el modelo de Ralph Kimball.
  - Incluyó la formación de un grupo de trabajo, la recopilación de requerimientos arquitectónicos, la creación de un documento de implicaciones arquitectónicas, el desarrollo de un modelo arquitectónico personalizado, la determinación de fases de implementación y el diseño de subsistemas con herramientas estándar.

- **Etapa de Selección e Instalación de Herramientas**:
  - Se seleccionaron PostgreSQL como soporte para el almacén de datos y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la suite Power BI para el procesamiento, análisis y visualización de la información
- Se definió que los sistemas fuente serían SGA (Moodle) en PostgreSQL, el proceso ETL se realizaría con Power Query en Power BI, el servidor de presentación sería PostgreSQL, y las aplicaciones BI incluirían Power BI Dashboards y Power BI Report Builder.

Por lo tanto, en esta sección, se sentaron las bases metodológicas y de diseño para la implementación de la BISA, desde la evaluación inicial de madurez hasta la selección de herramientas, asegurando una solución robusta y alineada con las necesidades estratégicas del DEaD.

Posteriormente, el siguiente paso, consistió en realizar la experimentación y presentar los resultados, describiendo las fases prácticas de la investigación y los logros alcanzados con la propuesta presentada.

Entonces, en este paso se divide en dos subsecciones principales:

- **Experimentación**:
  - Se inició con una entrevista al jefe del DEaD, lo que permitió generar la Matriz de Procesos y Dimensiones, identificando seis procesos clave y sus dimensiones de análisis.
  - Se detectó la falta de definición de puestos de trabajo y documentación de procesos en el DEaD, lo que llevó a la participación del investigador en su definición y documentación, aplicando un estudio de diseño intervencionista (IAP).
  - Mediante encuestas y observaciones, se evaluó el nivel de madurez de inteligencia empresarial del departamento, determinando que la organización se encontraba en el nivel 2 de madurez según el Modelo de Madurez de Inteligencia Empresarial (EBIM).
  - El alcance del proyecto se centró en la necesidad del DEaD de analizar históricamente los reclamos e incidentes tecnopedagógicos de las Unidades Académicas, proponiendo un Data Mart alimentado por Moodle y el Sistema de Gestión Virtual.
  - Se siguieron las etapas de la metodología de Ralph Kimball, priorizando el diseño del modelo dimensional con una granularidad baja para los incidentes y reclamos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Se unificaron los hechos de incidentes y reclamos en una sola tabla (Hechos_AtencionCliente) para simplificar el modelo, facilitar el análisis y cumplir con el requerimiento de un reporte combinado, lo que permitió una gestión más eficiente y flexible.
- Se elaboró un modelo dimensional de alto nivel (gráfico de burbujas) para representar la interconexión entre las dimensiones y la tabla de hechos.
- El diseño de la arquitectura se basó en el modelo de Ralph Kimball, siguiendo un proceso de ocho pasos que incluyó la formación de un equipo, la recopilación de requisitos arquitectónicos, la creación de un documento de implicaciones, el desarrollo del modelo arquitectónico, la definición de fases de implementación, el diseño de subsistemas con herramientas estándar de mercado y la revisión del plan.
- Se seleccionaron PostgreSQL como soporte para el almacén de datos y Power BI para el procesamiento, análisis y visualización.

- **Resultados Obtenidos**:
  - Se realizaron pruebas utilizando archivos CSV con datos del SGA.
  - Los datos fueron cargados y transformados utilizando Power Query en Power BI, corrigiendo errores (como filas vacías).
  - Los datos corregidos se exportaron a un Data Mart Departamental en PostgreSQL mediante sentencias COPY.
  - Power BI se conectó directamente a PostgreSQL para la construcción del dashboard, aplicando transformaciones adicionales.
  - Se definieron métricas y visualizaciones clave en el dashboard para evaluar la eficiencia en la gestión de incidentes y reclamos, utilizando código Data Analysis Expressions (DAX) para cálculos dinámicos como el promedio de horas de resolución y el índice de satisfacción.
  - Finalmente, se generó un dashboard funcional en Power BI (Figura 3) que permite una vista centralizada y accesible para el monitoreo de datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones estratégicas basadas en la información.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 3: Imagen de Dashboard creado en Power BI. Fuente: Elaboración propia.*

Por lo tanto, se puede afirmar que la metodología de Ralph Kimball fue aplicada para diseñar y validar una arquitectura BI, culminando en un dashboard operativo que transforma los registros académicos en una herramienta visual potente para la gestión y toma de decisiones estratégicas en el ámbito educativo.

**Trabajos Relacionados**

Micha Ortiz [4] diseñó un modelo para la implementación de un sistema de información para apoyar el proceso de toma de decisiones en el "CEPUNC" de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se realizó un análisis de los procesos administrativos que se efectúa en dicho centro preuniversitario, donde la información se realizaba en Excel y Access, usando la metodología de Ralph Kimball para la construcción del almacén de datos. De Albuquerque [5] propuso utilizar los repositorios institucionales para iniciar el desarrollo de un Data Warehouse, logrando así comprender, optimizar y promover los procesos involucrados en la producción intelectual. Hemant y Hiren [6] plantearon que con BI para las IES, las autoridades responsables de la toma de decisiones pueden contar rápidamente con una visión de varias áreas de la universidad, pueden sistematizar fácilmente las solicitudes y el proceso de admisión para incorporar admisiones significativas, retención, evaluación, desempeño del personal docente y no docente, políticas de desarrollo de infraestructura para una toma de decisiones poderosa y óptima, y lograr futuras estrategias de marketing de BI.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Alenezi [7] brinda una visión general de las características distintivas del proceso de implementación de la transformación digital que se ha producido en las IES, a partir de la irrupción de la Industria 4.0. El autor propone la transformación digital en las IES desde las perspectivas sociológica, administrativa y tecnológica, pero nunca en conjunto.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Este trabajo presentó el diseño, implementación y prueba de una Arquitectura de Sistema de Inteligencia de Negocios (BISA) integrada con Moodle para el Departamento de Educación a Distancia. Se alcanzó el objetivo de asistir decisiones estratégicas mediante la integración de PostgreSQL y Power BI, aplicando metodología Ralph Kimball. Los aportes incluyen: arquitectura validada técnicamente, adaptación del modelo EBIM con aspectos de seguridad, modelo dimensional unificado y dashboard operativo funcional. Las limitaciones identificadas comprenden alcance acotado a incidentes/reclamos, validación solo técnica sin usuarios finales, y ausencia de ETL automatizado. La metodología Kimball resultó adecuada para instituciones con bajo nivel de madurez BI.

Como trabajos a futuro se propone evaluar el nivel de madurez de las IES, al aplicar BI. Con esto se podrá identificar áreas de mejora y adaptar la solución a necesidades específicas.

Además, las subsiguientes investigaciones deberían considerar los procesos de seguridad de la información que se administra y gestiona en la institución, asegurando que la integración de BI no comprometa la confidencialidad y la integridad de los datos.

**Agradecimientos**

- Ser integrante del staff de investigadores del citado proyecto de investigación, enmarcado dentro del Laboratorio de Sistemas de Información (LabSI) del Instituto de Informática de la Facultad de Ciencais Exactas, Físicas y Naturales de la UNSJ.
- Haber sido beneficiado con una beca Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas y de Creación Artística (CICITCA) para alumnos avanzados durante el año 2023.
- Actualmente, estar desarrollando una beca EVC-CIN correspondiente al periodo 2024.

**Referencias**

[1] AGUILAR L. J. (2019). Inteligencia de Negocios y Analítica de Datos. Editorial Alfaomega. 9789587785418.

[2] GARCIA A. & ROMAGNANO M. (2024). Arquitectura de un sistema de inteligencia de negocios para asistir a las decisiones estratégicas en educación superior. XXX CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN. UNLP, desde el 7

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



al 10 de octubre del 2024. Recuperado de https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/177457

[3] KIMBALL, R., ROSS, M., MUNDY, J., & THORNTHWAITE, W. (2008). The Data Warehouse Lifecycle Toolkit (3rd ed.). John Wiley & Sons.

[4] MICHA ORTIZ, J. C. (2021). Modelo de inteligencia de negocios como soporte a la toma de decisiones estratégicas en el Centro Pre Universitario CEPUNC de la Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de: http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2879

[5] DE ALBURQUERQUE, P. C., VILLARREAL, G. L., DE GIUSTI M. R. (2021). Proposal of a Data Warehouse for Scholarly Institutions built on Institutional Repositories. IX Jornadas de Cloud Computing, Big Data & Emerging Topics. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/125161/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[6] HEMANT S., HIREN, D. J. (2022). Pooling Business Intelligence and Dashboard Technology for Decisions Making in Higher Education Institutions. Gujarat University. Recuperado de: https://www.researchsquare.com/article/rs-1905128/latest.pdf

[7] ALENEZI, M. (2023). Digital Learning and Digital Institution in Higher Education. Educ. Sci. 2023, 13, 88. Recuperado de: https://www.mdpi.com/2227-7102/13/1/88

[8] TAN, C. S.; SIM, Y. W., & YEOH, W. (2011). A Maturity Model of Enterprise Business Intelligence. Communications of the IBIMA. http://doi.org/10.5171/2011.417812

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# evtnet
# Red Social para Organización de Eventos Deportivos y de Ocio

**Albino Martinez, Sergio Daniel**
**Blan, Andrés Esteban**
**Duran, Andrea Tatiana**
**Ogás, Sebastián Andrés**
**Rodríguez Guzman, Sara**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Mendoza***

**Resumen**
*Este artículo surge a partir del trabajo final desarrollado en el marco de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, cuyo objetivo fue diseñar e implementar evtnet, un sistema informático orientado a facilitar la organización y participación en eventos deportivos o de ocio. La plataforma busca brindar una experiencia intuitiva, segura y escalable para usuarios que deseen organizar, inscribirse o participar en eventos, ya sea de manera individual o grupal, en espacios públicos o privados.*
*Para el desarrollo del proyecto se emplearon diversas tecnologías, en el backend se utilizó Java con Spring Boot; en el frontend Sveltekit y CapacitorJS; y para la base de datos MariaDB. Se implementó un flujo de integración y despliegue continuo mediante GitHub Actions, Docker y repositorios en GitHub.*
*En cuanto a la gestión del proyecto y diseño, se adoptaron metodologías ágiles apoyadas en herramientas de planificación, diseño y prototipado junto con entornos de prueba y validación. Esto permitió asegurar la calidad del sistema, un desarrollo colaborativo ordenado y una plataforma adaptable a futuras evoluciones.*

**Abstract**
*This article stems from the final project developed within the framework of the Information Systems Engineering degree, whose objective was to design and implement **evtnet**, an information system aimed at facilitating the organization and participation in sports and recreational events. The platform seeks to provide an intuitive, secure, and scalable experience for users who wish to organize, register, or participate in events, either individually or in groups, in public or private spaces.*
*For the development of the project, various technologies were employed: Java with Spring Boot for the backend; SvelteKit and CapacitorJS for the frontend; and MariaDB as the database system. A continuous integration and deployment flow was implemented through GitHub Actions, Docker, and GitHub repositories.*
*Regarding project management and design, **agile methodologies** were adopted, supported by planning, design, and prototyping tools, along with testing and validation environments. This approach ensured system quality, an organized collaborative development process, and a platform adaptable to future evolutions.*

**Palabras Clave**
Gestión de eventos, ocio y deportes, espacios públicos, espacios privados, supereventos.

## Introducción

La necesidad de promover la actividad física y recreativa [1], junto con la creciente digitalización de servicios, ha dado lugar a nuevos desafíos en la organización de eventos deportivos. Muchas personas encuentran dificultades para encontrar o gestionar espacios adecuados, inscribirse a actividades grupales o coordinar eventos con facilidad.

evtnet surge como una solución a estos desafíos, proporcionando una plataforma digital que centraliza la administración de eventos y espacios, integrando además módulos de seguridad, monetización, peritaje legal, reportes e interacción social entre los participantes.

El sistema está dirigido a cualquier persona que desee participar en actividades recreativas, deportivas o de ocio, y a su vez a quienes deseen organizar este tipo de eventos de manera profesional o amateur.

En la realidad actual de Argentina se encuentra una amplia base de practicantes de deportes pero con barreras de resistencia permanentes. En el 2023, más de un tercio

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de las personas que realizan deportes, participaron en competencias organizadas (37,7%) [2]. Entre quienes abandonaron, la falta de un lugar para practicar tiene picos del 49,7% en personas de entre 40 y 49 años [2], como se muestra en 1. Motivos de abandono de la actividad física y/o deporte por rango etario. Entre quienes nunca practicaron, la falta de compañía constituye el 44,4%, siendo una de las razones principales [2], esto se puede apreciar en 2. Motivos por los que no realiza deporte y/o actividad física de manera regular. De esta manera, el presente sistema reduce las barreras mediante la facilitación de coordinación y grupos, permitiendo la organización de cada participante, y la puesta a disposición para todos de espacios adecuados.

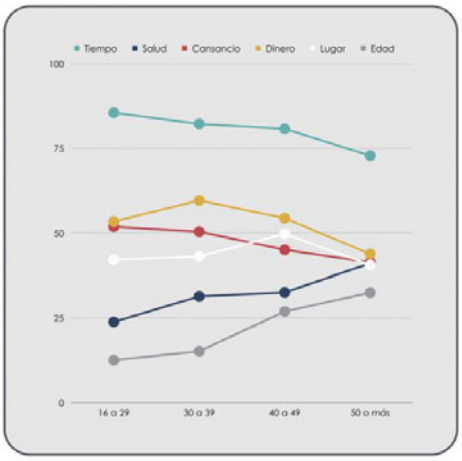



*Figura 1. Motivos de abandono de la actividad física y/o deporte por rango etario (extraído de [2])*

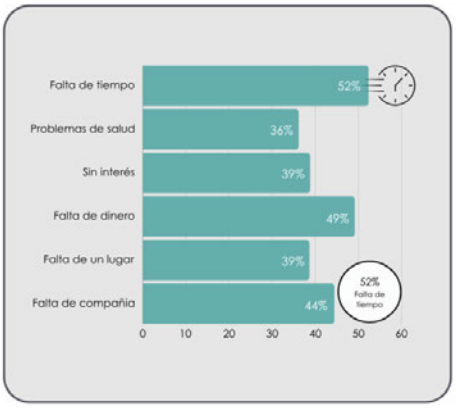



*Figura 2. Motivos por los que no realiza deporte y/o actividad física de manera regular (extraído de [2])*

**Materiales y métodos**

Para el desarrollo de evtnet, se utilizó una metodología ágil e incremental, centrada en el diseño modular y escalable. El proyecto se estructuró en distintas fases: definición de objetivos, diseño funcional, implementación técnica, pruebas, validación y despliegue. Se utilizaron diversas herramientas en cada etapa de planificación y desarrollo.

Cada módulo del sistema fue diseñado en base a historias de usuario que detallan requisitos funcionales y criterios de aceptación, permitiendo una planificación precisa de las funcionalidades.

A continuación, se detallan los módulos que componen el sistema.

*Módulo de Eventos*

Permite a los usuarios organizar (ver 3. Pantalla de organizar Evento), buscar (ver 4. Pantalla de búsqueda de Evento) e inscribirse en eventos y supereventos (agrupaciones de eventos). Se incluye un chat en tiempo real para participantes, gestión de inscripciones, denuncias de irregularidades y visualización de comprobantes de pago.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 3. Pantalla de organizar Evento*




*Figura 4. Pantalla de búsqueda de eventos*

*Módulo de Espacios*

Los usuarios pueden registrar espacios privados o solicitar el registro de espacios públicos. Incluye la administración de cronogramas, características, reseñas, imágenes y precios por uso. Se permite establecer administradores y transferir la propiedad del espacio privado.

Se presentan las interfaces correspondientes al detalle de un espacio (ver 5. Pantalla de detalle de espacio) y de búsqueda de espacios (ver 6. Pantalla de búsqueda de espacios).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 5. Pantalla de detalle de espacio*




*Figura 6. Pantalla de búsqueda de espacios*

*Módulo de Usuarios*

Incluye gestión de cuentas, perfiles, roles, autenticación mediante diversas opciones, calificación entre participantes, búsquedas de usuarios, chats privados y administración por parte de los administradores del sistema.

Se presenta la interfaz de inicio de sesión en 7. Pantalla de inicio de sesión.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 7. Pantalla de inicio de sesión*

*Módulo de Grupos*
Los usuarios pueden formar grupos y participar en eventos de manera grupal. Cada grupo cuenta con un chat privado y funcionalidades de administración colaborativa.

*Módulo de Parámetros*
Permite configurar disciplinas, modos de eventos, comisiones económicas, calificaciones, medios de pago y otras variables del sistema que aseguran flexibilidad y escalabilidad.

*Módulo de Reportes*
Incluye un dashboard para visualizar estadísticas clave: participación por evento y espacio (ver 8. Reporte de participación por evento en espacio), registros de usuarios (ver 9. Reporte de registraciones e inicios de sesión), ingresos generados (ver 10. Reportes de ingresos por medio de monetización), entre otros indicadores útiles para la toma de decisiones estratégicas del sistema y de los propietarios de espacios.




*Figura 8. Reporte de participación por evento en espacio*




*Figura 9. Reporte de registraciones e inicios de sesión*




*Figura 10. Reporte de ingresos por medio de monetización*

*Módulo de Peritaje*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Brinda acceso a registros detallados de actividades en el sistema con fines legales o de auditoría. Se incluye tipo de acción, usuario, fecha y detalles de cada solicitud.

*Módulo de Backup y Recuperación*
Permite realizar copias de seguridad automáticas o manuales y restaurar la base de datos a un estado anterior ante fallos o pérdidas de información.

*Módulo de Mascota*
Integra una guía visual interactiva (mascota digital), como se puede ver en la 11. Pantalla de mascota para acompañar al usuario en nuevas funcionalidades. Su configuración es flexible y permite establecer su aparición por contexto.

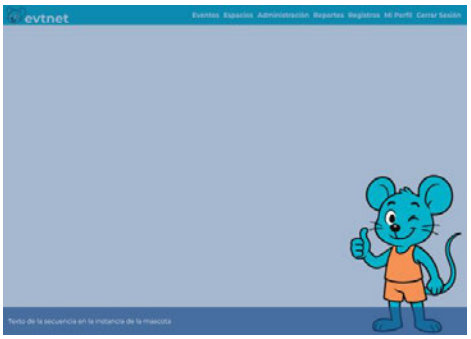


*Figura 11. Pantalla de mascota*

**Tecnología utilizada**
Durante el desarrollo del sistema evtnet, se emplearon diversas tecnologías que permitieron construir una solución robusta, escalable y centrada en la experiencia del usuario. La selección tecnológica se basó en criterios como la eficiencia, la facilidad de integración, el enfoque mobile-first y la experiencia del equipo.

Las tecnologías aplicadas fueron:

- Backend
  - Java con Spring Boot [3]: utilizado para desarrollar la lógica de negocio y exponer servicios RESTful. Su arquitectura modular y su amplia comunidad lo convierten en una herramienta sólida para aplicaciones empresariales.
- Frontend
  - SvelteKit [4]: framework moderno y eficiente seleccionado para el desarrollo de la interfaz web con enfoque mobile-first. Su capacidad para generar aplicaciones rápidas y reactivas fue clave en la experiencia del usuario.
  - CapacitorJS [5][6]: empleado para convertir la aplicación web en una app móvil, permitiendo el acceso a funcionalidades nativas de dispositivos como cámara, geolocalización y notificaciones push.
  - HTML, CSS, JavaScript, Tailwind y Typescript: tecnologías utilizadas para el diseño, estructura y comportamiento de la interfaz gráfica del sistema.
- Base de Datos
  - MariaDB [7]: sistema de gestión de bases de datos relacional elegido para modelar, almacenar y administrar los datos del sistema.
- Control de versiones y automatización
  - Git / GitHub: utilizado para la gestión del código fuente, incluyendo control de versiones, manejo de ramas y colaboración mediante pull requests.
  - GitHub Actions [8]: herramienta de CI/CD aplicada para la automatización de pruebas, validaciones y despliegues.
- Despliegue
  - Docker [9]: empleado para empaquetar y distribuir los componentes del sistema en contenedores, facilitando la portabilidad y el despliegue en distintos entornos.
- Diseño y prototipado
  - Figma [11]: utilizado para el diseño de interfaces y prototipado de pantallas, lo cual permitió validar el diseño con usuarios antes de su implementación.
- Pruebas y validación
  - Postman [10]: herramienta aplicada para probar manualmente los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



servicios REST, verificar respuestas y validar flujos de integración.

Esta combinación de tecnologías permitió construir una plataforma eficiente, adaptable a distintos dispositivos, y preparada para futuras evoluciones.

**Funcionalidades principales**

evtnet fue diseñado como una plataforma integral para gestionar eventos deportivos y recreativos, contemplando no solo la creación de eventos, sino también la gestión de espacios, grupos, participantes y pagos. Las funcionalidades del sistema están organizadas en distintos módulos, y permiten cubrir el ciclo completo de organización y participación en eventos. A continuación, se describen las principales capacidades del sistema:

- Organización y participación en eventos
  - Creación de eventos individuales o múltiples (supereventos).
  - Publicación de información detallada del evento: modalidad, disciplina, ubicación, fecha y precio.
  - Inscripción a eventos.
  - Administrar eventos e inscripciones
  - Sistema de denuncias ante irregularidades.
- Gestión de espacios
  - Registro de espacios privados por parte de sus dueños.
  - Registro de espacios públicos por parte de los administradores del sistema.
  - Administración de horarios, capacidad, precios y características del espacio.
  - Asignación de administradores secundarios.
  - Visualización de reseñas y puntajes por parte de los usuarios.
  - Transferencia de propiedad del espacio entre usuarios.
- Manejo de grupos de usuarios
  - Creación de grupos con múltiples integrantes.
  - Administración de integrantes y visualización de historial de participación.
  - Chat interno del grupo para coordinación.
- Gestión de usuarios y perfiles
  - Registro con autenticación mediante correo electrónico o Google.
  - Edición de perfil, imagen, contacto y datos personales.
  - Sistema de reputación mediante calificaciones entre usuarios.
  - Recuperación de contraseña y gestión de seguridad.
- Monetización y comisiones
  - Cálculo automático de montos a cobrar por espacio, evento y comisiones del sistema.
  - Generación de informes económicos por evento o usuario.
  - Parametrización de medios de pago y porcentajes de comisión.
- Reportes y estadísticas
  - Métricas generales y por módulo, para administradores del sistema o propietarios de espacios: cantidad de eventos, usuarios, grupos, espacios y ganancias.
  - Reportes descargables en distintos formatos.
- Auditoría y peritaje
  - Registro de acciones sensibles con información detallada (usuario, acción, fecha, módulo).
  - Acceso exclusivo para administradores del sistema.
- Backup y restauración
  - Realización de copias de seguridad automáticas o manuales.
  - Restauración del sistema a un punto anterior en caso de errores o pérdida de datos.
- Mascota interactiva
  - Asistente visual que orienta al usuario en el uso de nuevas funcionalidades.
  - Configurable por los administradores en cuanto a comportamiento, texto e imágenes.

**Modelo de datos**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para el desarrollo del modelo de datos se eligió utilizar un diagrama de clases de entidad, que muestra las entidades del sistema y las relaciones entre ellas.
A continuación, se presenta una versión resumida del mismo con las principales clases que hacen al sistema, en 12. Diagrama de clases reducido.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



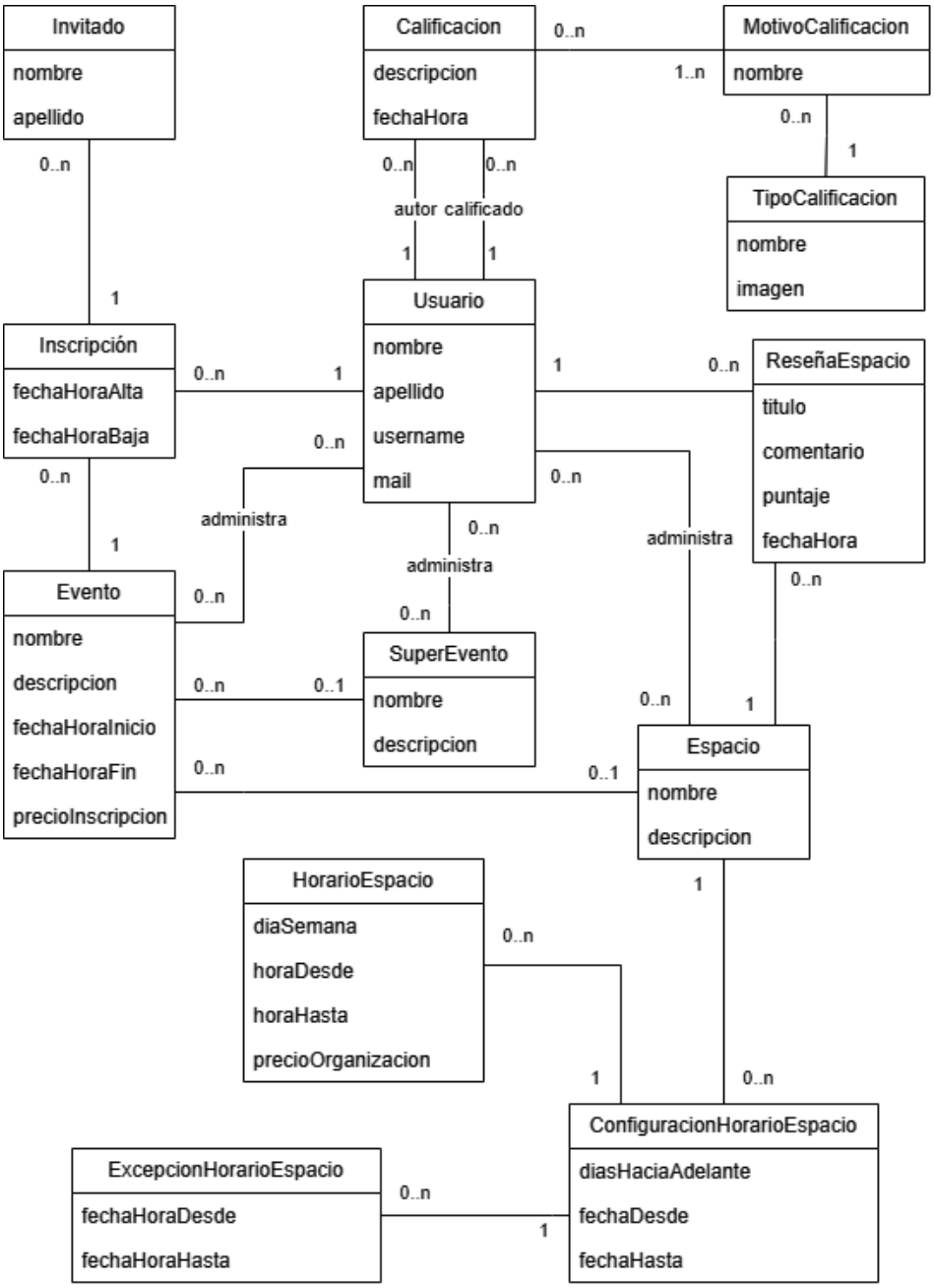



*Figura 12. Diagrama de clases reducido*

**Arquitectura**

Se presenta el siguiente diagrama de arquitectura (ver 13. Diagrama de arquitectura), con las principales características de la infraestructura diseñada para la implementación del sistema.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



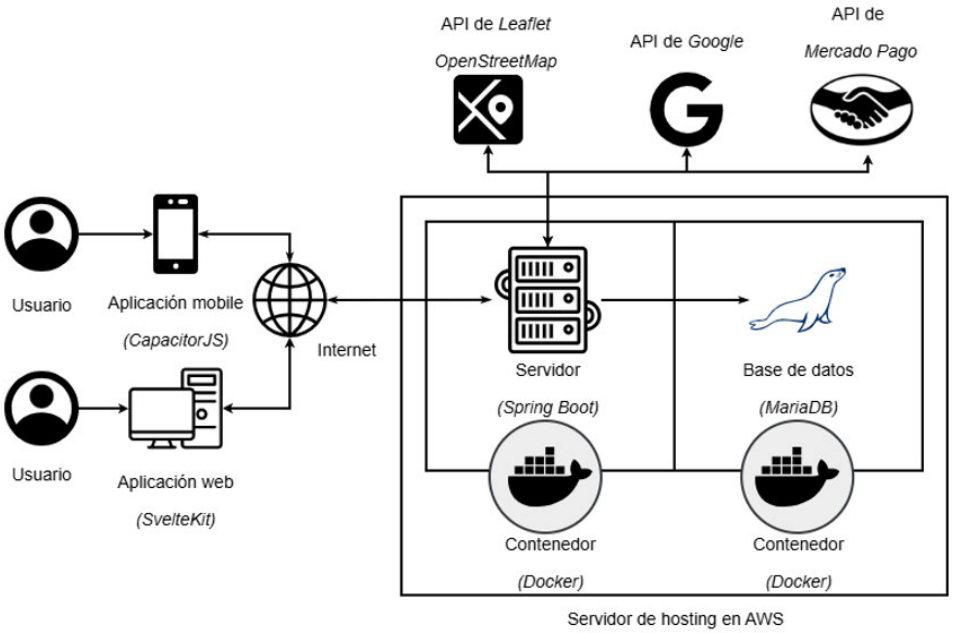



*Figura 13. Diagrama de arquitectura*

**Resultados**

El desarrollo de evtnet permitió no solo materializar una solución funcional a una problemática concreta, sino también generar una experiencia enriquecedora para el equipo de trabajo.

Desde el punto de vista técnico, se logró implementar exitosamente una aplicación mobile y una plataforma web que incluye funcionalidades completas para la organización de eventos, gestión de espacios, manejo de grupos, pagos, reportes y auditoría. Las pruebas realizadas demostraron un comportamiento estable, fluido y coherente en las interacciones entre usuarios, con tiempos de respuesta adecuados y correcta integración entre frontend, backend y base de datos.

Más allá de los aspectos técnicos, el desarrollo de evtnet también representó una instancia significativa para el fortalecimiento de nuestras habilidades blandas, como por ejemplo, la comunicación efectiva, gestión del tiempo, resolución de conflictos y la responsabilidad compartida. Uno de los principales desafíos que enfrentamos fue la coordinación entre los integrantes del equipo, especialmente al momento de definir prioridades, distribuir tareas, respetar plazos y resolver diferencias en criterios de diseño o implementación.

Estos desafíos fueron abordados mediante una comunicación constante y transparente entre los miembros del equipo, utilizando diversas herramientas y reuniones periódicas para revisar avances. El aporte activo de cada integrante y la disposición para escuchar, ceder y consensuar resultaron fundamentales para sostener un ambiente de trabajo colaborativo y respetuoso.

La experiencia de este proyecto integrador permitió afianzar no solo conocimientos técnicos y buenas prácticas de desarrollo de software, sino también valores esenciales para el trabajo profesional en equipo.

**Conclusión**

evtnet representa una propuesta tecnológica integral que transforma la forma en que los usuarios se vinculan con actividades deportivas y recreativas. Su enfoque

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



colaborativo, la administración de espacios y grupos, junto a sus mecanismos de seguridad, reportes e interacción social, lo posicionan como una plataforma versátil y preparada para escalar.

Además, su arquitectura modular y su diseño centrado en el usuario permiten una evolución constante del sistema. En este sentido, evtnet no se concibe como un producto cerrado, sino como una solución en expansión, con múltiples posibilidades de crecimiento futuro, tanto en funcionalidades como en integración con otros servicios. Esto incluye la incorporación de medios de pago, analítica avanzada de participación, soporte multilenguaje o georreferenciación ampliada.

Un aspecto a destacar sobre el desarrollo del proyecto es el uso de CapacitorJS para el uso de un mismo código fuente para tanto la aplicación mobile como la web, lo cual permitió un gran ahorro de tiempo. Otra tecnología de gran ayuda fue Jira, la cual fue utilizada para coordinar el desarrollo de la API del backend con el frontend al facilitar el manejo de un tablero Kanban con tarjetas de Endpoints requeridos por el frontend.

Su continuidad está respaldada por una base tecnológica sólida, un diseño extensible y un enfoque abierto a nuevas demandas, lo que permite pensar en futuras versiones más completas y adaptadas a diversos contextos de uso.

**Agradecimientos**

Agradecemos al equipo docente de la Cátedra Proyecto Final, donde desarrollamos el proyecto, por sus valiosos aportes teóricos y prácticos, así como por fomentar una dinámica de trabajo colaborativa que nos permitió experimentar una instancia de desarrollo similar a un entorno profesional.
A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza por brindarnos el espacio, la guía y el acompañamiento necesarios para llevar adelante la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información.

**Referencias**

[1] Zhong, H. M., Xu, H. B., Guo, E. K., Li, J., & Wang, Z. H. (2022). *Can internet use change sport participation behavior among residents? Evidence from the 2017 Chinese General Social Survey*. *Frontiers in Public Health*, *10*, 837911.
[2] Observatorio Social del Deporte. (2023). *Encuesta Nacional de Actividad Física y Deportes 2023*. Ministerio de Turismo y Deportes; IDAES–UNSAM. En https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/enafyd_2023_-_digital.pdf
[3] Spring Boot Documentation. (s.f.). *Spring Boot: getting started, features and production-grade applications*. En *docs.spring.io/spring-boot*
[4] SvelteKit Documentation. (s.f.). *Introduction and getting started with SvelteKit*. En *svelte.dev/docs/kit*
[5] Capacitor Documentation. (s.f.). *Capacitor: cross-platform native runtime for web apps*. En *capacitorjs.com/docs*
[6] Capacitor APIs & Plugins Documentation. (s.f.). *Core APIs and plugins to access native device functionality*. En *capacitorjs.com/docs/plugins*
[7] MariaDB Documentation. (s.f.). *MariaDB documentation, guides, and reference*. En *mariadb.com/docs*
[8] GitHub Actions Documentation. (s.f.). *Automate workflows, CI/CD and custom actions in GitHub Actions*. En *docs.github.com/actions*
[9] Docker Documentation. (s.f.). *Docker overview, getting started and reference guides*. En *docs.docker.com*
[10] Postman Documentation. (s.f.). *Introducción y uso de Postman para desarrollo y prueba de APIs*. En *learning.postman.com/docs*
[11] Figma Documentation & Resources. (s.f.). *Collaborative interface design tool and design basics*. En *figma.com/help* y *resource-library*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Dicta: sistema de transcripción inteligente y asistencia en tiempo real para audiencias judiciales

**Contreras Agustin,**
**Fragassi Donatella,**
**Povoli Olivera Víctor,**
**Ruiz Diaz Manuel,**
**Simonetti Gian Luca.**
***Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM), Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT)***

**Abstract**
*El presente trabajo presenta Dicta, un sistema de inteligencia artificial orientado a optimizar el registro y análisis de audiencias judiciales. La herramienta permite transcribir intervenciones en tiempo real, identificar a los participantes, generar marcas temporales y asistir al profesional jurídico mediante funcionalidades de análisis avanzado. Entre estas se incluyen la generación automática de preguntas, la identificación de contradicciones y la producción de resúmenes que facilitan la comprensión global de la audiencia. La propuesta integra técnicas de reconocimiento automático del habla y procesamiento de lenguaje natural, utilizando modelos de código abierto adaptados a la terminología jurídica y al español. Su diseño modular garantiza escalabilidad, y busca responder a la necesidad de contar con soluciones locales que combinan precisión, accesibilidad y soporte contextual en procesos judiciales.*

**Palabras Clave:**
Inteligencia Artificial, Procesamiento de Lenguaje Natural, Transcripción Automática, Derecho, Asistente Virtual, Dicta.

## Introducción

En el contexto judicial actual, las audiencias orales representan un momento crítico para la obtención y análisis de información; este fenómeno se ve potenciado por la transición al sistema penal acusatorio que transita Argentina [1]. Durante estas instancias, se generan grandes volúmenes de datos en un corto período de tiempo, los cuales deben ser registrados con la mayor precisión posible para garantizar la transparencia, la trazabilidad y el derecho a la defensa [2]. Tradicionalmente, esta tarea recae en grabaciones de audio y transcripciones manuales, procesos que resultan costosos, lentos y propensos a errores humanos, especialmente en entornos donde intervienen múltiples personas y el intercambio de información es rápido y dinámico.

En el ámbito científico y tecnológico, los avances en reconocimiento automático del habla (ASR), procesamiento de lenguaje natural (NLP) y diarización de hablantes han permitido desarrollar sistemas capaces de transcribir y analizar audio de manera precisa y eficiente. Sin embargo, la mayoría de las soluciones existentes presentan limitaciones significativas:

- Carecen de adaptación a la terminología y particularidades lingüísticas del español utilizado en el ámbito judicial argentino.
- Los modelos genéricos tienden a cometer errores con terminología legal específica o nombres propios locales.
- Suelen limitarse solamente a la transcripción literal.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- No ofrecen funciones de análisis avanzado como detección de contradicciones, evaluación de emociones o generación automática de resúmenes y preguntas en tiempo real.

El presente trabajo desarrolla Dicta, un sistema integral que combina tecnologías de inteligencia artificial para ofrecer una solución adaptada a las necesidades del sector judicial. La utilidad principal del sistema radica en su capacidad para:

1. Transcribir audiencias en tiempo real con alta precisión.
2. Identificar hablantes y generar marcas temporales.
3. Detectar contradicciones y analizar el tono emocional de las intervenciones.
4. Generar preguntas, resúmenes automáticos, líneas de tiempo y mapas mentales para facilitar el trabajo de jueces y abogados.

Las aplicaciones prácticas de Dicta incluyen la agilización de procesos judiciales, la mejora en la calidad y accesibilidad de la información para todas las partes involucradas y el fortalecimiento de la transparencia en audiencias. Asimismo, su arquitectura modular y escalable permite adaptarlo a otros ámbitos como reuniones corporativas, donde el registro y análisis de diálogos es esencial.

En cuanto a la estructura del trabajo, primero se presentan los conceptos y tecnologías que sirven de base para el desarrollo de *Dicta*. Luego, se describe la metodología e implementación utilizada junto con el proceso de transformación de la información. Finalmente, se incluyen los trabajos relacionados y las conclusiones, donde se proponen líneas futuras orientadas a ampliar las funcionalidades y el alcance de *Dicta*.

**Metodología e Implementación**

El diseño de *Dicta* se planteó siguiendo un enfoque modular, con el objetivo de garantizar escalabilidad, mantenibilidad y facilidad de pruebas. Para ello, se definió un proceso en varias etapas que transforma la señal de audio en información enriquecida y útil para los profesionales del derecho.

En una primera instancia, el sistema recibe la entrada de audio ya sea en tiempo real, a través de micrófonos instalados en la sala, desde archivos previamente grabados, o un video en vivo desde YouTube que suele ser la plataforma utilizada por el Poder Judicial de la Nación. El audio ingresado se transmite al módulo de transcripción en fragmentos continuos. Actualmente el sistema no aplica técnicas avanzadas de preprocesamiento, lo que constituye una línea futura de mejora para robustecer la calidad en entornos con ruido.

A continuación, se aplica el reconocimiento automático del habla, implementado con el modelo Whisper [3], que transcribe el audio a texto con alta precisión. Paralelamente, el módulo de diarización analiza el flujo de audio para identificar a cada hablante y asociar sus intervenciones a un identificador genérico y único, acompañado de marcas temporales.

Una vez generada la transcripción con identificadores genéricos, se procede a desenmascarar estos identificadores asignando un nombre basado en voces reconocidas con anterioridad usando la distancia coseno de los embeddings calculados con Pyannote [4]. Si todavía existieran fragmentos no reconocidos, se usa el contexto de la transcripción para determinarlos haciendo uso de un LLM con un prompt que incluye las entidades nombradas; esas entidades las obtenemos de un Named Entity Recognition pipeline

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(NER), luego segmentamos esos fragmentos de audio y guardamos los embeddings de dichos fragmentos para reconocimiento futuro. Finalmente, se procede a una etapa final de fusión de etiqueta de un hablante desconocido con uno conocido cuando la distancia coseno de los embeddings de los fragmentos de audio es superior a un umbral y la cantidad de intervenciones de un hablante es muy superior a la de otro. El fin de este último paso es identificar hablantes que la diarización detectó como únicos pero que probablemente sean hablantes previamente reconocidos que fueron indebidamente etiquetados por distorsiones del audio, la voz u otros artefactos. Esto lo logramos utilizando un puntaje que surge de la diferencia entre un umbral esperado y la suma ponderada y logarítmica de la cantidad de intervenciones de los hablantes:

$$U_{dinámico} = U_{base} - F_{escala} \times ((log(N_x) + log(N_y)))$$

Este umbral dinámico busca fusionar dos hablantes desconocidos si: 1) la similitud de sus voces es lo suficientemente alta y 2) uno de los hablantes tiene muchas más intervenciones que el otro. Esta heurística surge de observar que durante el proceso de diarización de Pyannote, el mismo hablante en ocasiones se detecta como un hablante distinto, ya sea por un fallo del micrófono o porque simplemente cambió su voz durante unos segundos. Esto genera un hablante extra en la transcripción pero dicho hablante tiene muy pocas intervenciones. Estos hablantes que surgen por errores de la diarización los fusionamos con hablantes cuya distancia coseno del embedding de su voz sea lo suficientemente alta respecto del umbral dinámico. La suma logarítmica nos da una curva suave que incrementa rápidamente para evitar fusionar dos hablantes que tienen muchas intervenciones.

De esta forma podemos tener dos reglas distintas, por ejemplo asignar el nombre un hablante cualquiera a una etiqueta conocida en una audiencia anterior si su voz supera un umbral, o bien asignarle una etiqueta entre los candidatos de la transcripción actual utilizando el umbral dinámico, como una forma de detección del error del modelo de diarización.

Para decidir el modelo hicimos un test personalizado comparando varios modelos LLM con un dataset de 2 transcripciones de audiencias judiciales.

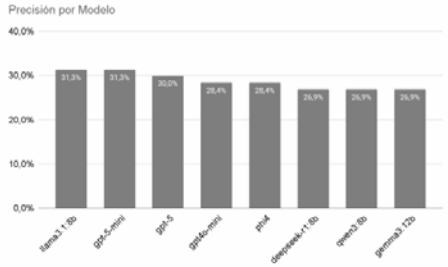



*Figura 1 Comparación de modelos LLM*

En esta comparación solamente se usó el mismo prompt que usa Dicta para pedirle al modelo que sugiera el nombre de cada hablante en base a la transcripción, sin ayuda del NER, Pyannote ni la fusión de hablantes por umbral dinámico. Como se puede apreciar, llama3.1:8b fue el modelo que mejor precisión obtuvo. Todos los modelos de tipo reasoning tuvieron peor performance para esta tarea y se excluyeron del estudio.

La combinación de LLM junto con NER, reconocimiento de audio con Pyannote y el umbral dinámico para fusionar etiquetas nos ha dado un mejor resultado respecto de simplemente usar LLMs. A continuación se muestra una comparación a partir de un dataset de transcripciones hechas de forma automatizada con Whisper y etiquetadas manualmente. Este dataset de fabricación propia contiene 23.260 intervenciones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



distribuidas en 12 audiencias orales y públicas subidas al canal de YouTube del Poder Judicial de la Nación [5].




*Figura 2 Comparación de pipelines*

| Estrategia | No reconocidos | Reconocidos | Porcentaje reconocido |
|---|---|---|---|
| LLM | 15415 | 7845 | 34% |
| LLM + NER | 8673 | 14587 | 63% |
| Dicta | 7532 | 15728 | 68% |

*Figura 3 Tabla de datos de comparaciones*

Se puede ver que ejecutar el LLM (llama3.1:8b) con un dataset mayor mantuvo aproximadamente su misma performance (31,3% vs 34%) y que el pipeline de Dicta provee resultados significativamente mejores (31,3% vs 68%), siendo el mayor aumento debido al NER inyectado en el prompt.

Una vez generada la transcripción segmentada, interviene el módulo de procesamiento de lenguaje natural (NLP). Este componente no solo analiza el contenido textual en busca de entidades relevantes y temas centrales, sino que también incluye funcionalidades avanzadas desarrolladas en este proyecto:

- Generación automática de preguntas, que sugieren al profesional puntos de repregunta o aclaración.
- Asistente de IA para responder preguntas en lenguaje natural usando las transcripciones de la causa.
- Detección de contradicciones, que compara fragmentos del discurso para identificar inconsistencias entre declaraciones.
- Análisis de emociones, que examina el tono expresivo para aportar contexto adicional sobre la intención del hablante.
- Resúmenes automáticos, que condensan la información principal de la audiencia y facilitan la comprensión global de lo sucedido.




*Figura 4 Diagrama de Proceso de Transformación de la Información.*

Todos estos resultados se gestionan a través del backend de Dicta, que actúa como orquestador entre los distintos módulos. Este componente maneja la lógica de negocio, genera los diferentes gráficos usando sintaxis mermaid, sincroniza el flujo de datos y garantiza la comunicación en tiempo real con la interfaz de usuario mediante WebSockets.

En cuanto a la interfaz web, se desarrolló un frontend que muestra la transcripción en vivo, con diferenciación de hablantes y marcas temporales, mientras que en un panel lateral se presentan las preguntas sugeridas, resúmenes y análisis contextuales. El diseño de la interfaz prioriza la simplicidad y la rapidez de consulta, permitiendo tanto el seguimiento en tiempo real como la revisión posterior de lo almacenado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 5 Interfaz frontend Dicta transcripción + herramientas*

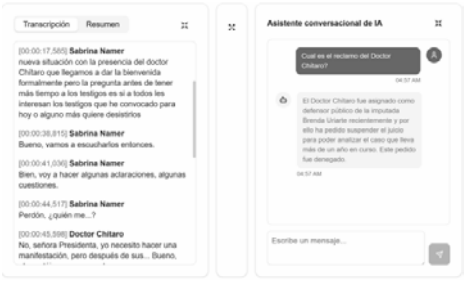



*Figura 6 Interfaz frontend Dicta transcripción + asistente IA*




*Figura 7 Interfaz frontend Dicta resumen + asistente IA*

Finalmente, toda la información procesada se almacena en una base de datos relacional (PostgreSQL), que conserva transcripciones, etiquetas de hablantes, emociones detectadas, contradicciones y resúmenes. Esto permite realizar búsquedas específicas y generar reportes que sirven tanto en el ámbito judicial como en capacitaciones y revisiones académicas.

En conjunto, esta propuesta metodológica permite transformar el audio de una audiencia judicial en un recurso analítico de gran valor, combinando precisión en la transcripción con inteligencia contextual y soporte activo al profesional.

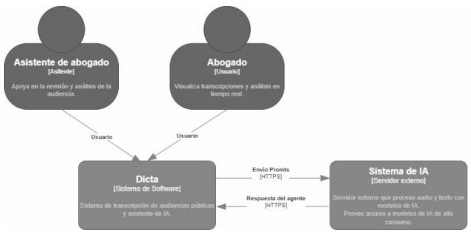



*Figura 8 Diagrama de Arquitectura del Sistema Dicta*




*Figura 9 Diagrama de Arquitectura del Sistema unificado Dicta*

## Trabajos Relacionados

El reconocimiento automático del habla y su aplicación en contextos legales han sido explorados en diferentes investigaciones y desarrollos tecnológicos en los últimos años. Existen sistemas de transcripción en tiempo real que se apoyan en motores de reconocimiento como Google Speech-to-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Text [6] o IBM Watson [7], los cuales ofrecen un rendimiento aceptable en audios de calidad y en idiomas ampliamente soportados. Sin embargo, estos enfoques presentan dificultades cuando se aplican al español rioplatense, ya que no están entrenados específicamente en las particularidades lingüísticas y terminológicas del ámbito judicial local.

Otros trabajos han buscado mejorar la accesibilidad de las audiencias mediante la generación de transcripciones automáticas en entornos académicos y corporativos. Por ejemplo, plataformas como *Microsoft Teams* y *Zoom* incorporan actualmente funciones de subtitulado en vivo, reconocimiento de voz y generación automática de resúmenes con identificación básica de participantes. Sin embargo, estas herramientas continúan orientadas a contextos de reuniones generales y no contemplan las particularidades lingüísticas ni las necesidades específicas del ámbito judicial, tales como la precisión terminológica, la detección de contradicciones o el análisis contextual del discurso.

En el plano académico, investigaciones recientes han comenzado a incorporar técnicas de diarización para distinguir hablantes en entornos multiusuario [8], aunque en la mayoría de los casos estos sistemas requieren gran capacidad de cómputo y dependen de servicios en la nube, lo cual plantea desafíos de privacidad en ámbitos sensibles como la justicia.

De manera similar, algunos estudios han abordado el uso de técnicas de reconocimiento de audio y lenguaje natural para asistir en el análisis de textos jurídicos, enfocándose en la clasificación de documentos o la detección de entidades legales [9]. No obstante, pocas iniciativas han explorado la combinación de transcripción en tiempo real con análisis semántico interactivo durante el desarrollo mismo de la audiencia, además la detección de audio suele hacerse de forma específica entrenando modelos para reconocer figuras populares repetidas entre audiencias, como jueces o abogados y no testigos cuyas voces nunca fueron grabadas previamente [9].

En este sentido, Dicta se diferencia de los trabajos previos al integrar en un mismo sistema la transcripción automática, la identificación de hablantes, el análisis de emociones, la detección de contradicciones y la generación de resúmenes y preguntas. Además, lo hace priorizando la privacidad y la adaptación al contexto jurídico argentino, lo que constituye un aporte original frente a soluciones más genéricas.

**Conclusiones y Trabajos Futuros**

El desarrollo de *Dicta* permitió demostrar que es posible integrar en una única herramienta judicial diferentes tecnologías de inteligencia artificial orientadas al procesamiento de audios de audiencias orales. A lo largo del trabajo se presentaron los módulos principales: transcripción en tiempo real, diarización de hablantes, análisis de emociones, detección de contradicciones y generación de resúmenes y preguntas. Estos resultados posicionan al sistema no solo como una alternativa a las transcripciones manuales, sino como una plataforma de apoyo activo a la labor de abogados, jueces y asistentes.

En comparación con trabajos previos, *Dicta* aporta un valor diferencial al combinar funcionalidades que en otras soluciones aparecen de manera aislada. Mientras los sistemas de subtitulado automático en tiempo real se limitan a transcribir sin análisis, nuestra propuesta añade capas de interpretación y asistencia contextual.

No obstante, el sistema presenta limitaciones actuales que deben reconocerse. En primer lugar, el rendimiento en ambientes con alto

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



nivel de ruido o con múltiples hablantes superpuestos sigue siendo un desafío para la precisión de la transcripción y la diarización. Asimismo, el análisis de emociones puede verse afectado por la variabilidad en la entonación y las particularidades de cada hablante, lo que exige refinar los modelos con datos más representativos del entorno judicial local. Otra limitación se encuentra en la generación de preguntas: si bien la mayoría resultan útiles, en ocasiones pueden ser demasiado generales, no se adaptan del todo al contexto específico del caso o son oponibles en el contexto judicial.

De cara al futuro, se plantean diferentes líneas de trabajo:

- Optimizar la robustez del sistema en escenarios complejos, mejorando la tolerancia al ruido y la superposición de voces.
- Ampliar el campo de entrenamiento con audios judiciales reales y anotados, que permitan mejorar tanto la transcripción como los módulos de análisis.
- Desarrollar métricas propias de calidad jurídica, que no solo midan precisión técnica, sino también utilidad real para abogados y jueces en el marco de audiencias.
- Incorporar visualizaciones interactivas, como líneas de tiempo que integren transcripción, emociones, contradicciones y resúmenes en un único panel.
- Extender la portabilidad del sistema para su uso en distintas instancias del proceso judicial.

En síntesis, *Dicta* constituye un primer paso sólido hacia la modernización de los procesos judiciales mediante inteligencia artificial. Su aporte reside en la integración de múltiples funcionalidades en una misma plataforma, lo que representa un avance frente a trabajos anteriores. Al mismo tiempo, abre nuevas preguntas y desafíos que, de ser abordados, permitirán consolidarlo como una herramienta confiable, eficiente y con impacto real en la práctica jurídica.

## Datos de Contacto

*Agustín Contreras. Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM). Florencio Varela 1903, San Justo, Buenos Aires, Argentina. agucontreras@alumno.unlam.edu.ar*
*Donatella Fragassi. Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM). Florencio Varela 1903, San Justo, Buenos Aires, Argentina. dfragassi@alumno.unlam.edu.ar*
*Gian Luca Simonetti. Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM). Florencio Varela 1903, San Justo, Buenos Aires, Argentina. gsimonetti@alumno.unlam.edu.ar*
*Manuel Ruiz Díaz. Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM). Florencio Varela 1903, San Justo, Buenos Aires, Argentina. manruizdiaz@alumno.unlam.edu.ar*
*Víctor Povoli. Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM). Florencio Varela 1903, San Justo, Buenos Aires, Argentina. vpovoliolivera@alumno.unlam.edu.ar*

**Referencias**

[1] Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. (2017, 24 de noviembre). *Sistema acusatorio: nuevos roles y mayor eficacia*. Argentina.gob.ar. . https://www.argentina.gob.ar/noticias/sistema-acusatorio-nuevos-roles-y-mayor-eficacia

[2] Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Argentina, “Protocolo de audiencias judiciales,” 2023. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/justicia

[3] Radford, A. et al., “Whisper: Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision,” *OpenAI*, 2022. Disponible en: https://openai.com/research/whisper

[4] Hervé Bredin, “Powerset multi-class cross entropy loss for neural speaker diarization” *Proc. INTERSPEECH 2023*. Disponible en: https://arxiv.org/html/2310.13025

[5] Poder Judicial de la Nación, Poder Judicial - Videoconferencias, Audio & Video. Disponible en: https://www.youtube.com/@pjn-videoconferencias

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[6] Google Speech to Text, Disponible en: https://cloud.google.com/text-to-speech?gad=1

[7] IBM Watson, Disponible en: https://www.ibm.com/products/speech-to-text

[8] Latané Bullock, Hervé Bredin, Leibny Paola Garcia-Perera., "Overlap-aware diarization: resegmentation using neural end-to-end overlapped speech detection", 2019. Disponible en: https://arxiv.org/abs/1910.11646

[9] Jeffrey Tumminia, Amanda Kuznecov, Sophia Tsilerides, Ilana Weinstein, Brian McFee, Michael Picheny, Aaron R. Kaufman., "Diarization of Legal Proceedings Identifying and Transcribing Judicial Speech from Recorded Court Audio", 2021. Disponible en: https://arxiv.org/pdf/2104.01304

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# LitBud: Aplicación para motivar y mejorar el nivel de la lectoescritura en adolescentes, jóvenes y adultos argentinos en 2025

**Celtich, Andrea Florencia; Martínez, María Roxana**
***Universidad Argentina de la Empresa (UADE)***
***{aceltich, mariarmartinez}@uade.edu.ar***

**Abstract**
*Al notar las dificultades en la lectoescritura de los adolescentes, jóvenes y adultos argentinos mediante encuestas, entrevistas y estudios, se plantea el desarrollo de LitBud, una aplicación móvil para fomentar las prácticas literarias, especialmente en públicos no activamente practicantes, mediante un sistema gamificado. Esto se ha realizado utilizando modelos de inteligencia artificial pre entrenados que detecten posible discurso de odio, contenido adulto, complejidad literaria, errores ortográficos, escritura mediante I.A. generativas y categorización de emociones en función a un texto con la finalidad de adicionar la escritura emocional o journaling, lo cual también suele ser una fuente de inspiración o motivación a la escritura. A partir de los escritos, se extraen indicadores, cuya funcionalidad es evaluar de forma personalizada a los usuarios, permitiendo un progreso adaptado a sus conocimientos y facilidades. Esto se logra mediante una aplicación de tipo red social, donde puedan escribir, publicar, valorar y leer escritos, planteando a su vez objetivos alcanzables y paulatinos. Se complementa con un módulo motivacional de tareas periódicas, los cuales otorgan recompensas a utilizar luego en un juego de decoración integrado, mediante el que se alcanza la atención de los públicos más jóvenes.*

**Palabras Clave**
Lectoescritura, Lectura, Escritura, Gamificación, Ludificación, Inteligencia Artificial, Journaling, Escritura Emocional

## Introducción

La lectura ha demostrado, con el correr del tiempo, el impacto que ha tenido en el reconocimiento de palabras, su utilización y relación, y, en consecuencia, el beneficio de la misma respecto de la mejora en la comprensión de textos. El reconocido estudio realizado anualmente por OECD sobre el panorama de la educación, entre muchos otros, ha reflejado cómo el rendimiento en cuanto a comprensión lectora varía positivamente en alumnos que leen por placer con respecto a quienes no lo hacen, así como también presentar el impacto positivo en el ámbito laboral de aquellos quienes han podido desarrollar esta facultad más que otros [1].

La lectura tiene beneficios directos en materia de habilidades cognitivas: estimula la actividad cerebral mejorando la memoria, el aprendizaje de nuevo vocabulario, la atención y concentración, además de las facultades que respectan a salud mental [2].

El ejercicio de la escritura implica la lectura y relectura de las producciones propias, la manifestación de la creatividad y su incentivo, el desarrollo de las facultades lingüístico-cognitivas, el sobre análisis y la búsqueda de la perfección. El constante repaso e intento de superación acentúan las correcciones ortográficas poniéndolas en práctica, exigiendo un entendimiento mayor de lo manifestado, demandando un mayor foco y meticulosidad.

La escritura creativa es un medio importante al momento de mejorar la expresión en estudiantes: favorece el desarrollo del pensamiento crítico, la capacidad de comunicación y la imaginación [3]. Se ha demostrado impacto directo de la lectoescritura en la mejora de ortografía, gramática y redacción y en el desempeño académico [4]. También existen prácticas cuyo medio es la escritura, a desarrollar a continuación.

## La escritura emocional

La escritura terapéutica o emocional es un recurso utilizado en terapias como herramienta para acompañar tratamientos psicológicos, incluso en ámbitos de adicciones o abusos de sustancias. Se ha demostrado que es de gran utilidad en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



duelos o tratamientos en contra de la depresión [5], así como en recuperación cognitiva en pacientes que han sufrido alcoholismo [6]. En víctimas de abusos sexuales obtuvieron descensos de los síntomas de disforia y ansiedad social, así como también se han notado grandes mejoras en los pacientes con estrés post traumático [7]. Se ha traducido también en mejoras en los estudios de salud a largo plazo; se han observado en pacientes con asma, artritis reumatoide e incluso, algunos pacientes con cáncer. Algunas personas con HIV también demostraron efectos similares a los de las drogas anti HIV [8].
Journaling es la denominación de la práctica de escribir de forma regular o periódica sobre temas que se deseen. Hace foco en reflexiones, ideas, planes, pensamientos, eventos y emociones. Además de aportar beneficios relacionados a la escritura, colabora también con el seguimiento del tratamiento y de las emociones o situaciones del paciente [9].

**Gamificación**

Gamificar es aplicar estrategias de juegos en contextos no jugables, ajenos a los juegos, con el fin de que las personas adopten ciertos comportamientos. Se caracteriza por otorgar recompensas, motivando a corto plazo, generando un deseo de lograr ciertos objetivos puntuales y alcanzables.
En educación es ampliamente utilizado hoy en día para el acompañamiento del aprendizaje, sea con herramientas como *Kahoot!*, *Duolingo*, entre otras.

**Estado actual de la problemática**

La Universidad Nacional de Cuyo ha realizado una encuesta en 2020 que demuestra cómo la comprensión lectora es un problema actualmente; son 4 de cada 10 alumnos en edad universitaria quienes comprenden lo que leen, así como muchos otros tienen también problemas al momento de transpolar lo entendido de forma escrita. Esto impacta de forma directa en la deserción académica [10].
En el Estudio de Consumos Culturales en Argentina realizado en 2023, puede verse la disminución en la lectura comparado con una década atrás. También que el doble de quienes leen en formato digital prefiere hacerlo desde el celular en lugar de en una computadora. Este descenso en el interés puede haberse dado gracias al aumento de consumo de redes sociales, tal como se refleja en dicha encuesta. Se observa un incremento en la lectura en los hogares con más cantidad de libros; el estudio Aprender realizado por el Gobierno de la Nación Argentina, destaca la diferencia favorable en niños de sectores medios y altos. Otro indicador relevante es el aumento de consumo de videojuegos, sobre todo desde 2022 respecto a 2017 [11].
En cuanto a la escritura, uno de los mayores desafíos en el ámbito escolar y académico, es lograr que las personas se expresen correctamente. Según numerosos estudios realizados por distintas entidades, uno de ellos del Ministerio de la Nación Argentina [12], y otro realizado por la UNESCO [13], se han encontrado grandes dificultades en la producción escrita desde edades tempranas. Esta problemática se da debido a la falta de la cultura de la escritura y motivación. Se afirma que, con las nuevas aplicaciones de comunicación, los jóvenes han adquirido mayores capacidades de expresión, aunque con una desmejora en la producción de textos largos con oraciones extensas [14].
Se han desarrollado numerosos estudios sobre el impacto de la IA Generativa en el rendimiento académico. Las opiniones son diversas, aun así, se afirma que, si bien podría facilitar y contribuir con la mejora de la ortografía y gramática, puede derivar en disminución del esfuerzo cognitivo [15].
A fines de entender la realidad local, se han elaborado una encuesta y dos entrevistas a una directora de un colegio secundario en La Pampa y una profesora de Lengua y Literatura. Los resultados de la encuesta han arrojado evidencia clara respecto de la problemática: sólo el 10,1% indicó escribir literatura por placer, dada la falta de motivación, distracción o falta de ideas. El

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



55.5% afirmó leer por placer, de quienes sólo el 1.9% de ellos señaló que esta práctica no ha tenido impacto en la mejora de su ortografía. En el público de menos de veinte años se percibe la falta de ideas y de motivación, de inspiración y, en menor medida, de tiempo; bloqueos ante no saber cómo continuar una historia u ordenar ideas y cerrarlas. Los docentes encuestados coincidieron, el 80.4% expresó que sus alumnos cuentan con dificultades a la hora de escribir, y el 86.3% que quienes leen con mayor frecuencia son quienes menos inconvenientes tienen en este aspecto. Además, manifestaron que las dificultades más notables con respecto a la escritura son la ortografía y redacción general. Los comentarios detallando las principales dificultades coinciden con los indicadores de la investigación. Entre las actividades puestas en práctica para motivar a los alumnos, nombraron lecturas por objetivos, diagnóstico de intereses y obras acorde, lecturas que fomenten la opinión, escritura y reescritura y club de lectores.

Los encuestados manifestaron también una buena recepción a las propuestas de posibles funcionalidades para LitBud, prefirieron las correcciones ortográficas, sugerencias de mejora personalizadas, ideas de escritura, journaling y la privacidad de las publicaciones. Las relativas a competitividad fueron las menos populares.

En el espacio de retroalimentación, han expresado una gran bienvenida a la solución propuesta, considerando que puede ser de gran utilidad para abordar la problemática.

En cuanto a las entrevistas, la directora Andrea Falagán ha enfatizado que la evaluación Monitoreo de Aprendizaje Pampeano ha arrojado resultados decrecientes los últimos años, mencionando también los problemas de concentración e incluso casos de analfabetismo en nivel secundario. Concluyó que, para afrontar esta problemática, la ludificación y la tecnología son herramientas que dan grandes resultados en los colegios. Se ha mostrado entusiasmada por la iniciativa, ofreciéndose para presentarla en las aulas.

En la entrevista a la profesora Marcela Ampudia, ella ha manifestado el incremento de las dificultades en la lectoescritura, lo cual repercute negativamente en gramática y redacción. Sin embargo, ha observado mayor facilidad y entusiasmo ante la utilización de herramientas tecnológicas.

**Alcance**

Al pensar la solución para abordar esta problemática, se ideó desarrollar una aplicación que englobe lo que suelen usar aquellos usuarios menos alcanzados por la lectoescritura: redes sociales, útiles para compartir contenido de nuevos autores y motivación entre pares; y juegos, grandes aliados al momento de encontrar incentivos.

Para poder cumplir con el objetivo de alcanzar al mayor público posible, de cualquier nivel socioeconómico (según estudios, la mayor gravedad de la problemática se da en los más bajos), para sustentarla se ha optado por un modelo Freemium, donde las características pagas no limitan las funcionalidades más críticas, sino que añaden atributos estéticos o características deseables. Para esto se ha estudiado al público y efectuado un análisis del modelo económico y financiero, con el fin de evaluar su rentabilidad a cinco años.

Como tal, una red social debe contar con sus funcionalidades básicas: ver, crear y valorar publicaciones. Las mismas deben verificarse; si se quiere alcanzar a público menor, es importante que se sientan seguros. Para esto se implementaron distintos modelos de IA pre entrenados: "*eliasalbouzidi/distilbert-nsfw-text-classifier*" para la detección de contenido adulto (en inglés), "*facebook/roberta-hate-speech-dynabench-r4-target*" para discurso de odio (en inglés), "*finiteautomata/beto-emotion-analysis*" para detección de sentimientos, "*Helsinki-NLP/opus-mt-es-en*" para traducción local de español a inglés (con el fin de utilizar los modelos anglosajones), *GPTZero* tercerizado para detección de escritura con IA, "*spacy/es_core_news_md*" para extracción de métricas de complejidad literaria y el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistema de *Language Tool* de *Python* para detección de errores ortográficos.
Se ha decidido utilizar dos modelos en inglés dada su precisión y su no criticidad en lo que respecta a ortografía y gramática: es distinto evaluar la complejidad literaria traduciendo un texto, mas puede clasificar si es discurso de odio o contenido para adultos. Se detalla a continuación la implementación de los modelos.

**Sanitización**
Previo a las evaluaciones de modelos, se realiza una sanitización interna del texto ingresado. Se reemplazan los caracteres que tengan la intencionalidad de imitar una letra, se evalúa que el contenido sea en español, y se sobrescriben palabras del lunfardo rioplatense por español neutro, para los modelos que requieran traducción al inglés. Así se intentan reducir los fallos ante textos escritos con el fin de ocultar mensajes ante este tipo de algoritmos.

**Detección de IA**
Se decidió contratar una *API* externa de *GPTZero*, con funcionalidades adaptadas al español, buena reputación y precio. A pesar de comunicar métricas significativamente buenas, se han detectado inconsistencias: mientras a un cuento de Borges lo detecta como humano, uno infantil (se probó con un fragmento de “Ruperto Detective” de Roy Berocay) lo identifica como escrito con IA. Por esta razón es que podríase (teniendo en cuenta los errores y falsos positivos de un modelo) asegurar cuándo un texto está escrito por un humano, mas no así lo contrario. En consecuencia, tampoco sería justo penalizarlo, sino simplemente agregar más recompensas en caso de que califique como humano. El modelo cotiza según cantidad de palabras; dada la naturaleza de la aplicación, las mismas son numerosas, por lo cual es útil a fines económicos.

**Traducción**
Algunos modelos dada su precisión y peso eran óptimos para ciertas detecciones de contenido. Asimismo, no se consideraba crítica su disponibilidad en español de no encontrar uno lo suficientemente funcional. La mayoría de los modelos entrenados en español de este tipo eran en base a reseñas y estaban privados o no tenían buena precisión. Es por esto que se optó por modelos en inglés sumado a un modelo de traducción por *tokens* y multihilos, volviendo la evaluación de contenido lo más rápida y óptima posible.
Se han evaluado proveedores para la traducción, pero los precios eran altos para una primera versión. En consiguiente, se investigaron modelos distintos, según complejidad y peso, escogiendo uno relativamente liviano (aproximadamente 400MB, no requiere GPU). Este modelo elegido corre local en la *API* de análisis de contenido, logrando así no depender de modelos de terceros, latencia y posibilidad de eventual baja del modelo, para funcionalidades importantes que forman parte del sentido de la aplicación. El mismo está basado en Marian NMT, la similitud a los textos de referencia humanos es de un 60%, además de ser penalizado en casos de traducir frases más cortas o reducirlas, por lo cual es robusto y puede traducir frases fieles. Se han testeado frases desafortunadas o discurso de odio además de contenido erótico (incluso utilizando lenguaje coloquial) y las traducciones han sido satisfactorias. En caso de recibir reportes de traducciones erróneas, debe evaluarse migrar a un modelo más complejo.

**Detección de contenido adulto**
Así como el modelo anterior, éste también se encuentra alojado en la nube, descargado localmente, sin depender de proveedores terceros. El mismo se eligió por ser óptimo y liviano, está basado en *DistilBERT-base* (lo cual lo vuelve veloz), y clasifica de forma simple y eficiente, entre seguro o adulto. Su score ha alcanzado el 0.97, y, acompañado del modelo de traducción, han dado buenos resultados en las pruebas realizadas. Es un algoritmo clasificador, que etiqueta de forma binaria entre seguro o no apto para todo público.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Detección de discurso de odio**
El modelo elegido es parte de un trabajo académico de *Machine Learning* [16] que ha logrado en la cuarta ronda de entrenamiento resultados robustos, con aproximadamente un 0.76 de F1 y un 95% de precisión. Al estar basado en *RoBERTa-base*, el tamaño es similar (aproximadamente 500MB), por lo cual se optó también por tenerlo local, por las razones detalladas previamente. Es un modelo más pesado que el anterior, pero el contenido a evaluar es más delicado y desea bloquearse siempre, sin importar si el usuario es mayor de edad o no.

**Detección de emociones**
Este modelo cuenta con mayor peso y utilización de memoria RAM al ser cargado en memoria que los anteriores. Tiene soporte en español, por lo cual no es necesario acudir a un modelo en inglés, optimizando así las consultas de *journaling*, siendo las mismas sincrónicas. A diferencia de las literarias (asincrónicas), la detección de emociones debe ser inmediata para que el usuario pueda obtener sugerencias de escritura al respecto.
También basado en un artículo académico, se ha realizado con BETO, el cual ha terminado con un rendimiento estable de poco más del 52% en español. No es exacto, aunque sus competidores no lo superan por significativa diferencia, pero funciona veloz y podría en un futuro reemplazarse por modelos más complejos.

**Obtención de correcciones ortográficas**
Se utilizó LanguageTool de Python de forma local, un sistema de reglas lingüísticas, lo cual lo vuelve óptimo y veloz, además de tener reglas de distintos tipos, ortográficas, gramaticales, errores de tipeo, entre otras. Al trabajar sobre un sistema de reglas predefinidas, puede tener dualidades, sobre todo al corregir palabras en el contexto o sustantivos propios desconocidos, las cuales deben ser observadas y refinadas a medida que se acumule información de uso. A futuro, podría migrarse a la API de *Language Tool* Premium, o bien incluirla dentro del plan Premium de la aplicación, con sugerencias ortográficas mejoradas. Aun así, es importante destacar que, al ser una funcionalidad núcleo de la herramienta, si se migra a la API del proveedor, debería mantenerse un sistema de backup con la librería local.

**Obtención de métricas de complejidad**
Para la complejidad literaria se ha utilizado el modelo NLP de *spaCy*, el cual se encuentra optimizado para CPU, por lo cual funciona rápidamente y es considerablemente liviano, por lo cual puede levantarse en memoria habiéndolo descargado previamente. En sus funcionalidades incluye herramientas como clasificación morfológica, dependencias sintácticas, segmentación de oraciones, entre otros, útiles para luego extraer métricas de complejidad en base a las mismas. La API de gramática, que contiene a este modelo, retorna métricas calculadas a desarrollar en el siguiente punto.

**Métricas de complejidad**
La API de gramática devuelve ciertas métricas; la API Core que la consume es la encargada de establecerles pesos, así decide la complejidad media del texto. Asimismo, almacena los resultados de las métricas, para luego efectuar comparaciones. Las métricas principales son:
TTR o diversidad léxica: cuántas palabras únicas existen en relación al total. Cuantas más palabras únicas, más complejo es el texto. No obstante, no es de las métricas más descriptivas, dado que si existen oraciones del tipo “el perro se escondió debajo de la mesa”, el TTR será alto, pese a no tener palabras complejas. Por esto el peso a asignarle al TTR será bajo.
MTLD o robustez de la diversidad léxica a lo largo del texto: Similar pero más confiable que el anterior, mide cuánto se mantiene el TTR alto a lo largo del texto. En un texto demasiado corto no logra medir la robustez entonces es 0, pero si a lo largo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de un texto la diversidad léxica se mantiene, el MTLD será alto, aunque el TTR tienda a bajar por la inevitabilidad de la repetición.

Densidad Léxica: Es la relación entre palabras con contenido (sustantivos, adjetivos, verbos) sobre las funcionales (artículos, pronombres, conjunciones, etcétera). En la oralidad, las conjunciones son numerosas en proporción, mientras que en la literatura las palaras descriptivas o con contenido predominan más, volviendo al texto más complejo o rico.

Longitud media de oración: Mide cuántas palabras tiene una oración en promedio. Cuantas más palabras, más complejo es el texto.

Profundidad sintáctica media: Mide la cantidad de niveles jerárquicos con los que cuentan las estructuras gramaticales. Refiere a la altura del árbol sintáctico, la cantidad de dependencias internas en cada oración.

Subordinadas por oración: Una cláusula subordinada es una proposición que depende de otra, por ejemplo “El día en que fuimos a la plaza cuando viniste a visitarme pude ver el sol” es más complejo que “El lunes vi el sol”.

Cada una de las métricas tendrá su sugerencia asociada. Se solicitará reemplazar puntos o comas por conectores, y oraciones más largas en las últimas métricas; sumar sinónimos y enriquecer con adjetivos en las primeras. Por ejemplo, para subordinadas por oración, se propone la corrección siguiente: “*Podrías lograr un texto con mayores características literarias agregando oraciones más profundas y enriquecedoras, intenta agregando más descripciones, conectores y oraciones subordinadas (por ejemplo, en lugar de decir "El perro corre.", podrías reemplazarlo por "El perro, que estaba extasiado debido a que su mejor amigo había vuelto de viaje, corrió hasta quedarse sin aliento por todo el jardín.")*”.

**UX/UI**

Para la aplicación se pensó en una red social con colores cálidos y suaves, que fomenten una sensación de tranquilidad y generen una atmósfera de incentivo a la lectura. La tipografía se decidió de tal forma que en las publicaciones rememore la de un libro, mientras que en el resto se ha elegido una simple y fácil de leer. Se realizó el diseño de una “mascota” en la aplicación, con la cual el usuario podrá interactuar. Para evitar controles de fotografía y cuidar de contenido peligroso, todas las imágenes de perfil en la aplicación son avatares con distintos diseños. Esto, a su vez, permite al usuario expresar sus sentimientos de forma más confortable, abriendo paso a una posible escritura emocional. Se demuestran a continuación algunas de las pantallas diseñadas y, en parte, implementadas.



Figura 1 – Juego de decoración




Figura 2 – Escritura de post literario

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Utilización de la APP**

Además de visualizar el timeline con las publicaciones, calificarlas, comentarlas y filtrar por contenido adulto o géneros de literatura, el usuario puede escoger en el menú escribir un post. Tiene la opción de solicitar correcciones ortográficas, ideas de escritura (las cuales serán otorgadas según un índice personalizado para cada usuario, evitando la repetición lo mayor posible), incluso optar por la publicación privada de tipo *journal*, donde deberá escribir sobre su día, para que así la aplicación detecte sus emociones y, en función de las mismas, otorgue sugerencias de escritura emocional. Estas publicaciones de tipo *journaling* darán menos puntaje y no serán evaluadas.

Si el usuario desea escribir un post literario, la aplicación creará el mismo en estado pendiente, dejando al usuario utilizarla mientras que el *backend* estará procesando el mismo de forma asincrónica, dada la demora de los modelos de IA. Una vez el post se encuentre evaluado, se le notifica al usuario. En este caso pueden ocurrir dos escenarios, o bien queda publicado (si es la primera publicación o tiene mejores métricas que la anterior, o no puede mejorar las métricas aún más) o bien queda en estado evaluado, con sugerencias de mejoras para que el usuario tenga la oportunidad de poder editarlo y reintentar ganar más monedas. En caso de edición, el procesamiento será el mismo, pero si decide publicarlo de todas formas, se registran las métricas nuevas, publica el post, se agregan los bonos y monedas que les correspondan y se evalúa la completitud de alguna tarea diaria relacionada. Existe un escenario alternativo donde el post es detectado con discurso de odio. En cuyo caso quedará bloqueado, asignándole una "marca" interna al usuario. Al acumular numerosas marcas, el mismo puede ser expulsado de la aplicación. Además, puede jugar, gastar las monedas en la tienda del juego, decorar su casa, y completar mini juegos de lengua periódicos, parte del módulo motivacional.

Dado que los modelos de IA podrían fallar, se han sumado mecanismos tales como la denuncia de una publicación (a partir de las cinco de distintos usuarios, la misma se pausará automáticamente, susceptible a revisión manual), tolerancia de hasta tres errores ortográficos y una pantalla de reporte de errores, para obtener soporte humano al detectar alguna anomalía.

**Arquitectura de LitBud**

La aplicación se encuentra alocada en *AWS*, teniendo un total de tres *APIs*: una de gramática en *Python* con el modelo de métricas de escritura y *LanguageTool*; otra, en el mismo lenguaje, de contenido, con los modelos de discurso de odio, traducción, contenido adulto y detección de sentimientos; y una última en *Typescript*, con las funcionalidades núcleo e integración de las *APIs* en *Python*. En el procesamiento de publicaciones, la *API* principal emitirá un mensaje *SNS* a un tópico que es escuchado por una cola *SQS*. El mensaje recibido será procesado por una función Lambda en *AWS*, la cual será la responsable de enviar una *request* a la *API* principal, cuya responsabilidad será la de integrarse con los modelos de IA para procesar la publicación en cuestión. Cada *API* se encuentra en un *EC2* de tamaño acorde en *AWS*, enmascaradas con *Amazon Gateway*, con el fin de sumar una capa de seguridad a las *APIs*. Las requests se harán con *JWT* para securizarlas. Se utilizó el patrón *REST* y, en el *backend* en *Typescript*, arquitectura hexagonal. La base de datos es un *PostgreSQL* en *AWS*, con un esquema relacional que permite el tratamiento de una red social y sus usuarios. A la par, existe un proceso de tipo *cron* ejecutándose periódicamente, responsable de la asignación iterativa de tareas diarias y minijuegos a usuarios, de acuerdo a su zona horaria local. Estas tareas podrán ser obtenidas y completadas desde las pantallas del sector motivacional de la aplicación.

El *frontend* se realizó en *React Native*, utilizando Expo, con los avatares de los usuarios y *assets* generales del juego en un *bucket S3*. El juego se desarrolló en *Phaser*, integrado a la aplicación *mobile*.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



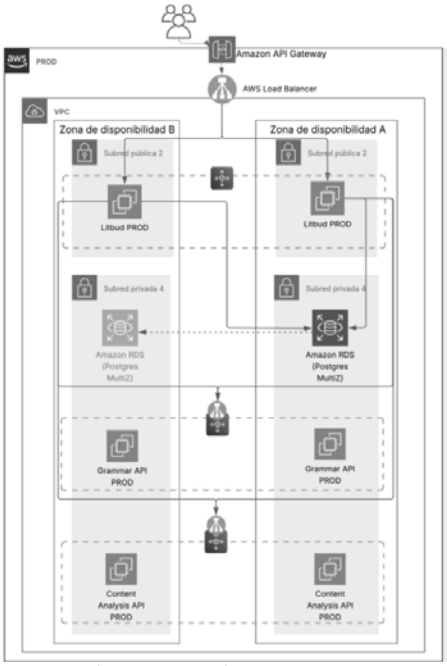


Figura 3 – Arquitectura en *AWS*

**Trabajos Relacionados**

La mayoría de los juegos para motivar la lectoescritura refieren a públicos en edad de alfabetización, cuyas metas son, entre otras, aprender a leer, adquirir vocabulario, silabear y mejorar su ortografía. Los juegos podrían crear un ambiente de aprendizaje más dinámico, interesante y motivador, para practicar, con actividades interactivas, reglas ortográficas [17]. Se han realizado gamificaciones del aprendizaje en alumnos en edad escolar, mediante cuestionarios y actividades formulados por docentes y profesionales, mediante herramientas como *Kahoot!*, *Genially*, *Wakelet*, *JClic*, entre otras; los resultados evidenciaron un incremento significativo en la retención de los contenidos y disminución de errores [18]. El videojuego *GAUBI,* con resultados positivos, enfoca el aprendizaje en reglas ortográficas [19]. El juego *Dale!*, enfoca la enseñanza de la lectoescritura de forma paulatina y con lecciones, con niveles más avanzados [20]. Plataformas como *SuperCíber* tienen su foco en un grupo de usuarios de mayor edad, donde se evalúa la ortografía y comprensión lectora. Las calificaciones de quienes la utilizaron aumentaron significativamente [21].

Otros proyectos como competencia directa son aquellas aplicaciones orientadas a la lectoescritura en públicos de más edad. Pueden mencionarse *Wattpad*, *Inkitt*, *Fanfiction.net* y *AO3*. Éstas se caracterizan por su amplia comunidad, popularidad, libertad de contenido, gratuidad y, en general, multiplataforma. En su mayoría, no cuentan con correctores gramaticales potentes o soporte en español; utilizadas por público adolescente aficionado a los fanfictions[1], con un nivel de escritura en promedio novato, muchas veces crean producciones escritas de contenido adulto. En general, no filtran este tipo de textos, generando incomodidad en sus usuarios o adultos a cargo. Tienen funcionalidades motivadoras simples, basadas en validación entre pares o, en el caso de Inkitt, concursos con potencialidad de publicación del contenido en una web para este fin. Ninguna tiene gamificación integrada atractiva para público no aficionado, más allá de, en algunos casos, objetivos de lectoescritura diarios. La motivación radica, casi en su totalidad, en el entusiasmo del usuario por este tipo de prácticas.

**Otros proyectos**

La competencia potencialmente directa no se encuentra disponible en español y no se han descubierto casos que gamifiquen más que por ranking o puntos. Las aplicaciones como *Ulysses* o *Scrivener*, están enfocadas en la experiencia del escritor profesional; no alinean su objetivo en la motivación o el alcance a públicos ajenos al hábito de la escritura. Existe también *Substack*, la cual no cuenta con motivación más allá de la monetización de *newsletter*[2] ni con corrección ni gamificación asociada. Luego otras como *Goodreads* y *READO* focalizan en el seguimiento de lecturas y recomendaciones del gusto del usuario.

[1] Historias ficticias escritas por aficionados a una obra, utilizando elementos o personajes de esta como base.
[2] Publicación digital que se distribuye a través del correo electrónico periódicamente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para *journaling* existen múltiples aplicaciones, aunque no están enlazadas con la literatura y gamificación a la vez.
Según lo descripto, la competencia es fuerte y popular. No obstante, apunta a un público orientado a la escritura de *fanfictions* o profesional de literatura. Aun así, existen aspectos que todavía no resuelven, los cuales LitBud intenta integrar y solucionar.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

LitBud propone una solución integral sobre las debilidades de la competencia. Se establecen modelos IA que se encargan de la ortografía y gramática, validación inmediata de escritura, discurso de odio o contenido adulto y detección de emociones, así como funcionalidades motivadoras para mantener la constancia más allá de la validación externa, además de un juego atractivo visualmente y sugerencias ante bloqueos creativos, abarcando públicos ajenos a esta afición.
Como parte de las funcionalidades a implementar en una futura versión, se han priorizado algunas sugerencias obtenidas en la encuesta y ajenas a la misma. Entre ellas, una plataforma web, adaptabilidad de idioma, lecciones de lengua y literatura, *fine-tune* de los modelos, *widget mobile,* categorización de géneros literarios por IA, y alarmas de recordatorio según el tiempo de ocio. De momento, el desarrollo está optimizado para Argentina. Se espera poder incrementar la arquitectura planteada para poder extender el dominio a otros idiomas y localizaciones, mejorar el rendimiento y precisión de los modelos y entrenar nuevos.
Muchas de las funcionalidades principales de LitBud están atadas a la precisión de los modelos de IA utilizados. Esto implica que no se podrá prescindir de la intervención humana a demanda, ya que los modelos pueden tener errores. Es probable evaluar un reemplazo por modelos más complejos, cuando la infraestructura así lo permita, con un modelo de negocio en crecimiento.
Se escogió la forma de red social con un juego ya que suelen ser las aplicaciones que más atraen al público objetivo, y en las cuales pasan la mayor cantidad de tiempo. Se ha estipulado un día de pruebas, donde LitBud será probado con usuarios finales, con el fin de extraer métricas de usabilidad e impacto. Esto será realizado con estudiantes de secundaria del colegio Manuel Belgrano de Eduardo Castex, con la ayuda de la directora Andrea Falagán.
Es seguro que la búsqueda del acercamiento de los jóvenes a la lectoescritura en tiempos de inmediatez, representa un desafío y hay múltiples enfoques que podrían ser útiles. Se trata de analizar su uso, escuchar a los usuarios y sus sugerencias, observar con métricas cuáles son las funcionalidades que más mantienen a la persona dentro de la aplicación, para poder mejorarlas, además de visualizar si, a largo plazo, efectivamente se logra un aumento en la calidad de la escritura de los usuarios activos y un acercamiento a esta práctica a quienes no solían ser aficionados.

**Agradecimientos**

A mi tutora M. Roxana Martínez, por dar el seguimiento y apoyo en la elaboración del trabajo.
A la directora Andrea Falagán por la información y ofrecimiento a presentar el proyecto en el colegio.
A la profesora Marcela Ampudia, por la elaboración de ejercicios de lectoescritura y su apoyo constante.
A M. Belén Ortiz Ampudia, por su colaboración con los diseños del juego desarrollado.

**Referencias**

[1] OECD [en línea]. ¿Leen actualmente los estudiantes por placer? Focus, 2011 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: www.oecd.org/en/about/programmes/pisa.html
[2] HELMUT KOPPMANN ATTONI, Alejandro. La lectura y sus positivos efectos para la salud mental. En: Clínica Alemana de Chile [en línea]. 25 febrero 2022 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://www.clinicaalemana.cl/articulos/detalle/2022/la-lectura-y-efectospositivos-para-la-salud-mental
[3] MAIGUA TAIPE, Luz M. et al. La escritura creativa como herramienta para mejorar la expresión en estudiantes. En: South Florida Journal of Development [en línea], 16 abril 2025, vol. 6, no 4, p. e5161-e5161 [consulta: mayo 2025]. ISSN 2675-5459. Disponible en: https://doi.org/10.46932/sfjdv6n4-033 .
[4] PASCUAL-GÓMEZ, Isabel y CARRRIL-MARTÍNEZ, Isabel. Relación entre la comprensión lectora, la ortografía y el rendimiento: un estudio en Educación Primaria. En: Ocnos: Revista de estudios sobre lectura [en línea]. 31 mayo 2017, vol. 16, no 1,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



p. 7-17 [consulta: mayo 2025]. ISSN: 1885-446X. Disponible en: https://doi.org/10.18239/ocnos_2017.16.1.1167 .
[5] MONSIVAIS, Cynthia L. R. La escritura como terapia de liberación emocional para reducir síntomas de la depresión. En: Revista Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores [en línea]. 01 mayo 2023, Vol. 3, no. 8 [consulta: mayo 2025]. ISSN 2007-7890. Disponible en: https://doi.org/10.46377/dilemas.v10i3.3588 .
[6] FRÍAS-TORRES, Cindy et al. Terapia de rehabilitación cognitiva en pacientes con trastorno por consumo de alcohol y trastorno neurocognitivo. Estudio piloto. En: Adicciones [en línea]. 15 abril 2018, vol. 30, no 2, p. 93-100 [consulta: mayo 2025]. ISSN 0214-4840. Disponible en: https://doi.org/10.20882/adicciones.757 .
[7] KELLEY, Shane A. Effects of structured writing on a population of substance dependent individuals: An assessment of relapse rates and affective dysregulation [en línea]. Fielding Graduate University ProQuest Dissertations & Theses, 2010 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://www.proquest.com/openview/a152124758e1245e08e330ef2ad17a55 .
[8] BAIKIE, Karen A. y WILHELM, Kay. Emotional and physical health benefits of expressive writing. En: Advances in psychiatric treatment [en línea]. Septiembre 2005, vol. 11, no 5, p. 338-346 [consulta: mayo 2025]. ISSN 1472-1481. Disponible en: https://doi.org/10.1192/apt.11.5.338 .
[9] HURLEY, Terry. How Journaling Helps Addiction Recovery. En: English Mountain Recovery [en línea]. 13 julio 2023 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://englishmountain.com/blog/how-does-journaling-help-addiction-recovery/ .
[10] UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO. Encuesta y talleres estudiantiles 2020 Motivaciones, preferencias y expectativas [en línea]. 2020 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://labacademico.uncuyo.edu.ar/upload/encuesta-2020-2compressed.pdf
[11] MINISTERIO DE CULTURA DE LA NACIÓN, ENCUESTA NACIONAL DE CONSUMOS CULTURALES [en línea]. 2022 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/05/encc2023_informe_preliminar.pdf
[12] MORENO, Ceciclia B., KORZENIOWSKI, Celina y ESPÓSITO, Adriana (2022). Procesos cognitivos y ejecutivos asociados a la expresión escrita infantil. En: Ocnos [en línea]. 01 julio 2022, vol. 21, no 2 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://doi.org/10.18239/ocnos_2022.21.2.2839 .
[13] SOTOMAYOR, Carmen y CABELLO, Valeria. ¿Qué se espera que aprendan los estudiantes de América Latina y el Caribe? Análisis curricular del Estudio Regional Comparativo y Explicativo (ERCE 2019). En: UNESCO Office Santiago and Regional Bureau for Education in Latin America and the Caribbean [en línea]. 2020 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: www.unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373982
[14] SANTOS, Emanoelle. ¿Cuánto más tipean, peor escriben?: Este es el "efecto WhatsApp" en el lenguaje de los adolescentes. En: La Nación [en línea], 19 octubre 2022 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://www.lanacion.com.ar/sociedad/cuanto-mas-tipean-peorescriben-este-es-el-efecto-whatsapp-en-el-lenguaje-de-los-adolescentes-nid19102022/ .
[15] DE VICENTE-YAGÜE-JARA, María Isabel. et al. Escritura, creatividad e inteligencia artificial. ChatGPT en el contexto universitario. En: Comunicar: Revista Científica de Comunicación y Educación [en línea]. Octubre 2023, no. 77, p. 47-57 [consulta: mayo 2025]. e-ISSN 1988-3293. Disponible en: https://doi.org/10.3916/C77-2023-04
[16] VIDGEN, Bertie, et al. Learning from the worst: Dynamically generated datasets to improve online hate detection. arXiv preprint arXiv:2012.15761, 2020.
[17] GONZÁLEZ PANCHANA, Daniela V. y QUIJIJE FIGUEROA, Melany A. Juegos digitales para mejorar la ortografía en el área de lengua y literatura [en línea]. 2025. Tesis de Licenciatura. La Libertad, Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2025 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12761 .
[18] TOAPANTA, Karen M. M. et al. Impacto de la gamificación en el aprendizaje de ortografía para tercero de bachillerato de la Unidad Educativa Mejía D7. En: Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar [en línea], 2025, vol. 9, no 1, p. 1474-1494 [consulta: mayo 2025]. ISSN 2707-2215. Disponible en: doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.15911
[19] VÁZQUEZ CANO, Esteban et al. Análisis del impacto del uso de una aplicación gamificada para la práctica de la ortografía en español en Educación Primaria. En: RELATEC: Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa [en línea], 2025, vol. 24, no 1, p. 9-28 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://doi.org/10.17398/1695-288X.24.1.9 .
[20] HARARI, Viviana y HARARI, Ivana. Alfabetización digital con impacto en la lectoescritura [en línea]. En XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC), 2023 [consulta: mayo 2025]. Disponible en: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/149501/Documento_completo.pdfPDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y .
[21] CUNALEMA-MASABANDA, Doris G. et al. El impacto del aprendizaje en lengua y literatura mediante la integración de TEKMAN y la plataforma SuperCiber. En: MQRInvestigar [en línea]. 2025, vol. 9, no 1, p. e165-e165 [consulta: mayo 2025]. ISSN 2588– 0659. Disponible en: http://mqrinvestigar.com/2025/index.php/mqr/article/view/165/6625

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Prototipo de Realidad Virtual para mejorar la experiencia en la lectura de personas con Afantasía o TDAH

**Irigoyen, Nicolás**
***Universidad Argentina de la Empresa (UADE), Facultad de Ingeniería***
***nirigoyen@uade.edu.ar***

**Lombardo, Carlos Timoteo**
***Universidad Argentina de la Empresa (UADE), Facultad de Ingeniería***
***carlombardo@uade.edu.ar***

**Martínez, María Roxana**
***Universidad Argentina de la Empresa (UADE), Facultad de Ingeniería***
***mariarmartinez@uade.edu.ar***

**Abstract**
*Este trabajo aborda las dificultades de lectura en personas con afantasía o TDAH, que dificultan imaginar escenas, sostener la atención y mantener la continuidad en textos largos. Se presenta LIVRARIO, un prototipo de lectura en realidad virtual que busca reducir distracciones y acompañar al lector con apoyos simples. La propuesta combina escenas inmersivas predefinidas por género (fantasía, ciencia ficción y policial) con generación de imágenes y escenas 360° alineados al contenido ya leído, un asistente de lectura que resume y aclara sin adelantar la trama, y un registro de progreso para retomar fácilmente. El diseño prioriza una interfaz mínima para favorecer la concentración. Se describe el prototipo, su funcionamiento general y la validación inicial mediante una encuesta y dos entrevistas que orientaron decisiones de usabilidad y contenido. En conjunto, LIVRARIO apunta a acercar la lectura a quienes no logran visualizar lo que leen o se dispersan con facilidad, ofreciendo un marco visual y textual inmersivo que facilita la comprensión y atención sostenida a lo largo de la lectura de novelas.*

**Palabras clave**
Realidad virtual, lectura inmersiva, afantasía, TDAH, generación de imágenes, imágenes 360°, asistente de lectura, escenas inmersivas por género.

## Introducción

La lectura de textos narrativos extensos es una práctica que fortalece el pensamiento abstracto, la empatía, la comprensión lectora profunda y el desarrollo del lenguaje. No obstante, numerosas personas enfrentan barreras que obstaculizan o disminuyen la calidad de esta experiencia. Entre ellas se incluyen la afantasía, una condición que se distingue por la incapacidad de producir imágenes mentales, y los trastornos de déficit de atención que dificultan mantener el enfoque y la concentración. A estos problemas se añade una problemática más extensa relacionada con los bajos grados de motivación para leer entre niños, adolescentes y adultos jóvenes. En este contexto, la tecnología de realidad virtual inmersiva brinda una oportunidad única para reconsiderar la forma en que se manifiesta y se experimenta la lectura.

Las personas con afantasía suelen sentir una inmersión emocional inferior al leer, dado que presentan problemas para visualizar internamente acciones del relato [1], escenarios o personajes, a pesar de que su interpretación literal del texto no se vea necesariamente impactada [2]. Además, estudios clínicos realizados en niños con TDAH (trastorno por déficit de atención con hiperactividad) han demostrado que los ambientes virtuales envolventes pueden potenciar la atención constante, disminuir la distracción y mejorar el cumplimiento de tareas cognitivas complejas [3]. Estos descubrimientos concuerdan con conclusiones obtenidas en entornos educativos, donde se ha demostrado que la lectura en Realidad Virtual puede potenciar la motivación, la retención de información y la comprensión lectora [4]. Adicionalmente, la lectura en realidad virtual potencia el entendimiento y la memoria de relatos para niños [5].

Para validar empíricamente la problemática, se realizó una encuesta de elaboración propia que obtuvo 61 respuestas y dos entrevistas semiestructuradas (a una docente de Literatura y a una persona con afantasía). La encuesta mostró que el 31%

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de los encuestados tiene dificultades para visualizar escenas al leer, el 33% reporta problemas significativos de atención y el 7% cuenta con diagnóstico de TDAH; además, de forma consistente, más del 30% indicó divagación, interrupciones del entorno y relecturas frecuentes. Un 51% considera que un entorno virtual controlado mejoraría su concentración, 66% cree que elementos visuales y sonoros aumentarían su involucramiento y 80% estaría dispuesto a probar lectura en realidad virtual. La entrevista realizada a la docente Paula Cuschnir resaltó el impacto del teléfono como distractor, la importancia de un modelo mental activo y el valor de apoyos interactivos/glosarios; mientras que la entrevista realizada a Donnie Sacristan describió la ausencia de imágenes mentales, la lectura fragmentada y el potencial del aislamiento sensorial y de imágenes generadas por IA.

A pesar de la evidencia previa, las soluciones disponibles para lectura siguen siendo mayormente 2D (e-readers, apps) y no integran ambientación inmersiva ajustada al género narrativo; apoyos visuales generados por inteligencia artificial que asistan a quienes no pueden imaginar lo que leen; un asistente que explique sin spoilers; y seguimiento del progreso de la lectura para fomentar la persistencia. Falta, por tanto, una solución unificada que combine RV e IA para atender simultáneamente inmersión, comprensión y atención en lectores con afantasía o TDAH, en español y con orientación en usabilidad real. Es por ello que se propone *LIVRARIO, una* aplicación de realidad virtual que brinda a los usuarios la oportunidad de leer novelas en un ambiente inmersivo, sin distracciones y ajustado al género literario de cada obra. El sistema dispone de un hub de lectura donde el entorno visual se altera dependiendo de si es una historia de fantasía, ciencia ficción o policial.

Asimismo, *LIVRARIO* permite mejorar la comprensión al ofrecer apoyos visuales alineados al texto; aumentar la atención sostenida mediante entornos con bajo ruido visual; motivar al lector al transformar la lectura en una experiencia inmersiva y personalizada; y promover la persistencia en la lectura con métricas de progreso y resúmenes personalizados mediante el asistente. Por otro lado, *LIVRARIO* se focaliza en jóvenes y adultos con afantasía y/o TDAH, con el objetivo de aumentar el disfrute y la comprensión de la lectura mediante generación de apoyos visuales, escenas temáticas por género y un asistente sin spoilers.

**Diseño del prototipo**

El desarrollo se formula con objetivos generales, específicos y requisitos; se planifica mediante un cronograma por hitos (análisis, diseño, prototipado, pruebas con usuarios e iteraciones). Se definen roles y responsabilidades, canales de comunicación y artefactos de proyecto; se aplican prácticas de control de versiones, revisión por pares e integración y validación continua, preservando la trazabilidad entre requisitos, implementación y evidencias de evaluación.

En la Figura 1 se muestra el flujo principal de *LIVRARIO*. El usuario ingresa a la aplicación, inicia sesión y selecciona un libro de su biblioteca. Si la obra ya fue procesada, se cargan los datos existentes (metadatos, punto de lectura, embeddings y apoyos visuales). Si es la primera vez, el sistema crea esos datos: extrae la información básica del libro, genera embeddings y prepara imágenes y escenas 360° para apoyo visual. Luego, el entorno cambia automáticamente según el género de la obra (fantasía, ciencia ficción o policial).

Durante la lectura, el usuario puede solicitar un resumen o una aclaración del contenido ya leído. El asistente responde sin revelar partes futuras de la trama y, si corresponde, ofrece retomar desde el último punto guardado. De este modo, el lector continúa la sesión en un entorno estable y coherente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



con el género, mientras el sistema registra el progreso.

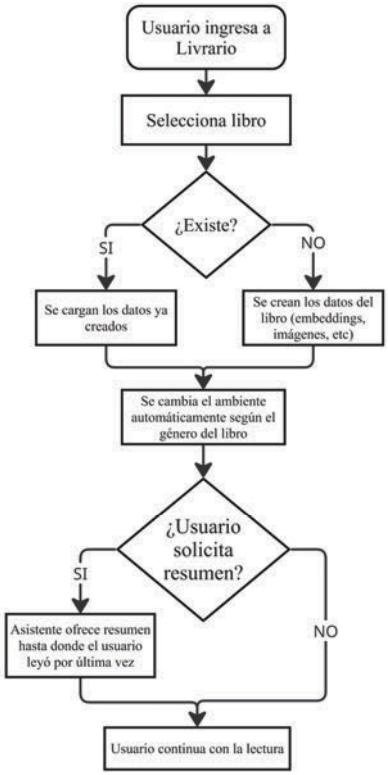



***Figura 1**: Flujo de usuario de LIVRARIO (prototipo).*

Al ingresar a la aplicación, el usuario es redirigido a la sala predeterminada, donde se muestra la pantalla de inicio de sesión como se observa en la Figura 2. Una vez autenticado, permanece en ese mismo entorno desde el cual puede acceder a su biblioteca y continuar con la selección del libro.




***Figura 2:** Sala predeterminada e inicio de sesión de LIVRARIO (prototipo).*

**Generación de imágenes y escenas 360°**
Al seleccionar un libro, el sistema primero verifica si ya existe en la base de datos. Si existe, se cargan los datos previamente creados (metadatos, punto de lectura, embeddings y recursos visuales). Si no existe, se inicia el procesamiento: se crea un directorio en el bucket de objetos usando el ISBN como clave y se detecta la estructura del texto (cantidad de capítulos).

Con esa información, el libro se segmenta en cinco partes considerando los capítulos para distribuir el trabajo de generación. En paralelo, a partir del ISBN o metadatos se determina el género y se selecciona el entorno correspondiente para la lectura. Esta división en partes permite adelantar recursos sin procesar toda la obra de una vez.

Para soportar búsquedas semánticas y el asistente, se generan embeddings por capítulo usando una ventana de contexto que incluye los cinco anteriores. Los embeddings se guardan en la base de datos asociados al ISBN. Durante la lectura, a medida que el usuario avanza, se descargan las bases de conocimiento necesarias para ese tramo, evitando cargas innecesarias.

La generación de apoyos visuales se realiza de forma escalonada. Cuando el lector llega al último capítulo de la parte actual, el sistema identifica los personajes presentes en esa sección y genera las imágenes y escenas 360° correspondientes; luego guarda esos recursos en el bucket dentro de la carpeta de esa parte. De este modo se reduce el tiempo de espera inicial y se evita exponer contenido de partes futuras.

En sesiones posteriores, si el libro ya fue procesado, el sistema reutiliza todo lo cacheado: carga embeddings y visuales existentes, aplica el entorno por género y retoma desde el último punto de lectura. Este flujo permite equilibrar el rendimiento, la coherencia narrativa y el control de spoilers.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Escenas inmersivas**

Tras la carga de información del libro y la detección del género, la aplicación cambia automáticamente a una de las tres escenas predefinidas: ciencia ficción, policial o fantasía. Cada escena tiene iluminación y paleta acordes para aumentar la inmersión y, a la vez, mantener la atención (UI mínima y sin elementos que distraigan). Como ejemplo, la Figura 3 muestra la escena predefinida para el género policial: utilería temática (patrulla, helicóptero y póster), iluminación fría con acentos rojo y azul.



***Figura 3**: Escena inmersiva del género policial en LIVRARIO (prototipo).*

A nivel de flujo, cuando el usuario selecciona un libro la aplicación consulta al backend los metadatos que generó el servicio de ingesta (ISBN, título, autor y, en particular, género). Con ese dato la aplicación decide qué escena cargar. Si el género no está disponible o es ambiguo, se conserva la sala predeterminada o se ofrece elegir manualmente.

**Asistente de lectura**

El asistente de lectura acompaña al usuario durante la sesión con respuestas breves y en contexto. Permite solicitar resúmenes del capítulo leído, aclaraciones de frases complejas, definiciones de vocabulario, recordatorios sobre personajes y lugares como en la Figura 4, y explicaciones sencillas sin adelantar la trama. También ayuda a retomar el hilo: si el lector vuelve después de un tiempo, puede solicitar un repaso rápido de “lo último leído” antes de continuar.



***Figura 4**: UI del Asistente de lectura de Livrario (prototipo) describiendo a un personaje.*

Su funcionamiento se apoya en embeddings generados por capítulo y en una búsqueda semántica que solo consulta el contenido alcanzado por el usuario. Cada pregunta pasa por un filtro de intención (resumen, glosario, personaje, lugar, aclaración) y por un control anti-spoilers: si la consulta requiere información de capítulos no leídos, el asistente avisa y propone alternativas seguras (pistas, repasos de eventos previos o sugerencias de avanzar en la lectura). Para mantener la coherencia y una baja latencia, el asistente guarda estado por obra (último punto de lectura, temas consultados recientemente) y reutiliza resultados cuando corresponde.

En términos operativos, el asistente funciona sobre un servicio de LLM con un esquema de recuperación aumentada de generación (RAG, por sus siglas en inglés). Los fragmentos de texto que se usan para responder se cargan bajo demanda y nunca incluyen capítulos futuros. El sistema registra únicamente lo necesario para la continuidad de la sesión (progreso y preferencias de interacción) y no comparte el libro completo con servicios externos. Con este enfoque, el asistente aporta un apoyo real a la comprensión y la memoria de la trama, sin romper la experiencia de inmersión ni el suspenso de la historia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Arquitectura**

La Figura 5 resume la arquitectura de *LIVRARIO*: la aplicación de realidad virtual (desarrollada en Unity) constituye el único frontend; el acceso se gestiona en un módulo de autenticación (Django + PostgreSQL); la orquestación y los microservicios (FastAPI) cubren ingesta de libros, generación de contenidos y chatbot con RAG; el servicio LLM/embeddings corre en Ollama y se desacopla mediante colas de procesamiento en CPU y GPU; las imágenes y escenas 360° se generan vía APIs externas (Pollinations y SkyboxAI) y se almacenan en almacenamiento de objetos (object storage), mientras que los metadatos y vectores se guardan en PostgreSQL + pgvector.

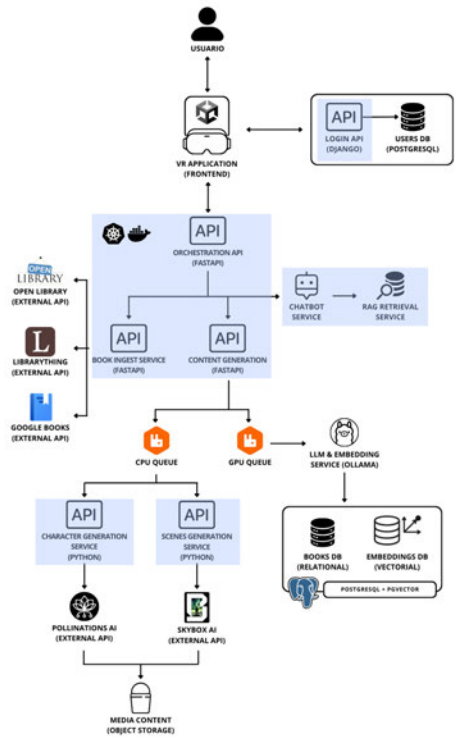



***Figura 5**: Arquitectura de alto nivel de LIVRARIO.*

La solución propuesta se fundamenta en una arquitectura de microservicios, en su mayoría implementados en Python. El acceso y la interacción por parte del usuario final se realizan exclusivamente a través de la aplicación de realidad virtual, desarrollada en Unity. Esta aplicación constituye el único punto de contacto del usuario con el sistema, y permite funcionalidades tales como la carga de libros, lectura de contenido y visualización de imágenes asociadas.

El backend de la solución se organiza en dos módulos principales. El primero corresponde al sistema de gestión de usuarios y autenticación, implementado en Django y respaldado por una base de datos PostgreSQL. La separación de este módulo respecto del resto de la aplicación contribuye a reforzar la seguridad en el manejo de información sensible, como credenciales y datos personales.

El segundo módulo corresponde al sistema de gestión de libros y contenidos, integrado por microservicios independientes que se comunican a través de mecanismos síncronos y asíncronos. Este módulo integra tres subservicios principales: el servicio de ingesta de libros, el servicio de generación de contenidos y el servicio de modelos de lenguaje (LLM).

El servicio de ingesta de libros administra la carga de obras por parte de los usuarios y recopila metadatos relevantes a través de fuentes externas, como *Open Library*, *LibraryThing* y *Google Books*. Entre los datos recolectados se incluyen el identificador (ISBN), título, géneros, sinopsis, autor, descripción del autor, personajes y escenarios clave de la obra. Además, este servicio desencadena automáticamente tareas de generación de embeddings y de contenidos al registrarse un nuevo libro.

El servicio de generación de contenidos produce representaciones visuales de personajes y escenas asociadas a los libros, las cuales son posteriormente utilizadas en la aplicación de realidad virtual. Para la generación de personajes se emplea la API de Pollinations.ai, seleccionada tras evaluar alternativas internas cuyo rendimiento no

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



resultó adecuado. Esta API permite tanto la creación de imágenes a partir de prompts como la conversión img2img (transformación de imágenes a partir de otras imágenes), garantizando coherencia visual entre las representaciones de un mismo personaje. En paralelo, la generación de entornos inmersivos en formato 360° se realiza mediante la API de SkyboxAI (Blockade Labs). Todo el contenido generado se almacena e indexa en un sistema de almacenamiento de objetos, optimizando su reutilización cuando múltiples usuarios acceden a un mismo libro, con el objetivo de evitar procesos de generación redundantes.

El servicio de LLM opera sobre modelos desplegados localmente en máquinas virtuales con GPU mediante Ollama. Este servicio cumple tres funciones principales: (i) generar embeddings a partir del contenido de los libros, utilizando metadatos que indican el progreso de lectura a fin de prevenir revelaciones anticipadas (spoilers); (ii) elaborar descripciones detalladas de personajes y escenarios, que luego son empleadas como insumos para los servicios de generación de imágenes; y (iii) ofrecer un modelo conversacional basado en la técnica de Retrieval-Augmented Generation (RAG), permitiendo responder consultas sobre el contenido de las obras y sobre información general relacionada.

**Trabajos Relacionados**

Con base en la revisión de trabajos recientes, se observa un crecimiento sostenido de propuestas que combinan lectura y realidad virtual, así como el uso de IA para apoyar la experiencia lectora. En especial, la literatura y los prototipos de lectura inmersiva señalan mejoras en motivación y presencia, lo que respalda el uso de realidad virtual como vía para abordar problemas de atención y de imaginación en lectores con afantasía o TDAH [6].

En investigaciones orientadas a flujos de experiencia en realidad virtual, se proponen recorridos de lectura y narrativa que combinan vistas y técnicas para guiar al usuario y reducir obstáculos en la interacción. Estas propuestas buscan que el lector se mantenga enfocado sin sobrecargar la interfaz [6]. En paralelo, experiencias de “audiolibro inmersivo” muestran que entornos acordes al relato aumentan la presencia y la emoción durante la lectura/escucha [14].

En el plano comercial, aparecen aplicaciones que apuntan a “leer sin distracciones” en entornos simples [7], a replicar la tangibilidad del libro físico mediante la importación de archivos PDF y cómics, así como un modo passthrough [8], y a situar la lectura dentro de escenarios temáticos prediseñados [9]. Estas soluciones abordan parcialmente el problema, ya sea mediante el aislamiento de distractores, la mejora de la ergonomía o la ambientación básica; sin embargo, no ofrecen apoyos visuales generados por IA sincronizados con el texto ni asistencia contextual sin spoilers.

Existen además soluciones históricas o de nicho que demuestran la viabilidad técnica de la lectura en realidad virtual. Aportan lectura ePub/cómics en espacio 3D y mejoras de legibilidad, pero sin módulos de comprensión, sin guías visuales y sin foco en afantasía o TDAH [10], [12], [13].

Por su parte, el trabajo [11] integra IA generativa, pero enfocada en crear historias/novelas gráficas nuevas. Esto aporta personalización creativa, aunque no está orientado a asistir la lectura de obras existentes con imágenes contextuales ni con un asistente que evite spoilers.

En investigación aplicada a TDAH, los entornos inmersivos y controlados en RV muestran mejoras en atención sostenida y reducción de distractores. Este enfoque resuelve de forma parcial el componente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



atencional, pero no aborda la falta de imaginación ni la comprensión narrativa en textos largos [3], [15].

En la Tabla 1 se resume, de forma comparativa, el objetivo y el resultado de los principales trabajos relacionados y cómo se posicionan frente a la propuesta de este trabajo.

*Tabla 1: Análisis comparativo de trabajos anteriores con la propuesta de este trabajo.*

| Trabajo | Objetivo | Resultado |
|---|---|---|
| [7] | Leer sin distracciones en RV con *hand tracking* y entornos simples. | Producto comercial. Sin IA ni asistente. |
| [8] | Replicar libro 3D en XR; importar PDFs/cómics; modo *passthrough*. | Producto en App Lab. Sin IA ni apoyos cognitivos. |
| [9] | Leer dentro de escenarios temáticos prediseñados. | Producto comercial *indie*. Sin IA; entorno elegido a mano. |
| [10] | Lectura ePub en RV con entorno básico. | Proyecto histórico. Sin IA; valor demostrativo. |
| [12] | Lectura de cómics/PDFs en estante 3D. | App temprana. Sin apoyos de comprensión. |
| [13] | Mantener el texto siempre visible al mover la cabeza. | App de nicho. Mejora legibilidad; sin IA. |
| [11] | XR Reader: generar historias con IA en AR/VR. | Producto en App Lab. IA creativa; no asiste obras existentes. |
| [14] | Audiolibro inmersivo con entornos acordes al relato. | Prototipo/estudio. Aumenta presencia; sin apoyos visuales guiados. |
| [6] | Prototipos de lectura inmersiva (UI/UX) en RV. | Prototipos académicos. Sin IA visual ni asistente. |
| Propuesta | Lectura inmersiva con entornos por género, imágenes/escenas 360° generadas por IA, asistente sin *spoilers* y progreso lector para afantasía/TDAH. | Prototipo funcional con integración RV+IA y foco en comprensión, atención e imaginación. |

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Este trabajo presenta un prototipo de lectura inmersiva en realidad virtual pensado para personas con afantasía o dificultades de atención. La propuesta combina un entorno que reduce distracciones, imágenes y escenas generadas por IA para apoyar la visualización, un asistente que resume y aclara sin adelantar la trama, y un sistema sencillo de seguimiento del progreso. En conjunto, estas piezas buscan mejorar la comprensión, atención sostenida, persistencia y disfrute en la lectura de novelas.

En comparación con trabajos previos, *LIVRARIO* no se limita a "leer sin distracciones" ni a ofrecer escenarios estéticamente agradables. Integra, en una misma experiencia, apoyo visual, ayuda textual y seguimiento de la lectura con un enfoque explícito en quienes no pueden imaginar escenas o presentan dificultades de concentración. Este enfoque integrado constituye el aporte principal en relación con las soluciones actualmente disponibles.

La validación de la problemática incluyó una encuesta con 61 respuestas. El 31% declaró dificultades para "ver" escenas o personajes al leer y el 39% señaló que ver imágenes/escenarios en realidad virtual mejoraría su comprensión o disfrute. El 33% reportó problemas significativos de atención y el 7% declaró contar con diagnóstico de TDAH. De forma consistente, más del 30% indicó que su mente divaga, que el entorno interrumpe la lectura y que debe releer con frecuencia. Además, el 51% consideró que un entorno virtual controlado mejoraría su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



concentración, el 66% afirmó que elementos visuales y sonoros favorecerían un mayor involucramiento sin generar distracción, y el 80% estaría dispuesto a probar la lectura en VR.

Las entrevistas sumaron contexto cualitativo. Con la docente de literatura Paula Cuschnir se resaltó la importancia de mantener un "modelo mental" activo durante la lectura, el celular como distractor permanente y el valor de apoyos concretos (glosarios, aclaraciones, pequeñas actividades) para no perder el hilo. Con Donnie Sacristan, quien presenta dificultades en imaginarse lo que lee, se confirmó la ausencia de imágenes mentales, la tendencia a una lectura fragmentada en textos muy descriptivos, la preferencia por géneros más analíticos y la necesidad de cuidar el confort en VR para evitar malestares. En conjunto, estos datos respaldan las decisiones de diseño (entorno controlado, apoyos visuales con IA y asistente sin spoilers) y dejan como siguiente paso medir con mayor rigor el impacto en comprensión y atención.

Por otro lado, el prototipo tiene limitaciones claras dado que cubre únicamente tres géneros (fantasía, ciencia ficción y policial) y está en español. No se integra con plataformas de libros, no es multijugador, no genera visualizaciones "al vuelo" leyendo todo el texto, y no incluye módulos formales para evaluar rendimiento lector. Tampoco ofrece perfiles de accesibilidad ni estadísticas detalladas para el usuario o para un docente.

A partir de estos límites, se abren líneas concretas de trabajo futuro. La primera es ampliar la cobertura de contenidos: sumar más géneros, textos técnicos o educativos, y habilitar otros idiomas. Esto permitiría llegar a más lectores y contextos.

También es importante integrar la aplicación con bibliotecas y plataformas de ebooks. Poder importar de manera segura libros ya comprados y respetar los mecanismos de gestión de derechos digitales (DRM) mejoraría la adopción y evitaría fricciones. Esto incluye soportar más formatos y flujos de carga sencillos.

Otra línea es la personalización. Perfiles que ajusten el nivel de estímulos visuales y sonoros, tamaño de letra, contraste, ayudas de vocabulario y ritmo de presentación pueden hacer la experiencia más cómoda para afantasía, TDAH y otras necesidades. La idea es que cada lector pueda personalizar la aplicación según sus necesidades.

En paralelo, resulta pertinente explorar visualizaciones más dinámicas y segmentadas por escena. Generar imágenes o panoramas 360° alineados a capítulos o marcadores del texto, sin revelar anticipadamente la trama, puede mejorar la coherencia entre lo que se lee y lo que se ve, siempre cuidando latencia y consistencia estética.

Por último, una variante educativa con actividades breves, preguntas guiadas y seguimiento pedagógico se perfila como una línea de trabajo natural. Podría ayudar a estudiantes que hoy abandonan textos por falta de foco o por barreras de vocabulario.

En síntesis, el trabajo sienta una base práctica para unir realidad virtual e inteligencia artificial al servicio de la lectura en personas con afantasía o TDAH. La propuesta *LIVRARIO* integra apoyo visual, ayuda textual y entornos sin distracciones en una sola aplicación. Los siguientes pasos son medir su efecto con mayor precisión, ampliar la cobertura e integraciones, y profundizar en la personalización, para pasar de un prototipo prometedor a una herramienta que aporte valor sostenido en comprensión, persistencia, atención y disfrute.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias**

[1] Dupont, W., Papaxanthis, C., Lebon, F., & Madden-Lombardi, C. (2024). Mental simulations and action language are impaired in individuals with aphantasia. Journal of Cognitive Neuroscience, 36(2), 261-271. Disponible en: https://direct.mit.edu/jocn/article-abstract/36/2/261/118098/Mental-Simulations-and-Action-Language-Are

[2] Speed, L. J., Eekhof, L. S., & Mak, M. (2024). The role of visual imagery in story reading: Evidence from aphantasia. Consciousness and Cognition, 118, 103645. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053810024000126

[3] Romero-Ayuso, D., Toledano-González, A., Rodríguez-Martínez, M. D. C., Arroyo-Castillo, P., Triviño-Juárez, J. M., González, P., ... & Segura-Fragoso, A. (2021). Effectiveness of virtual reality-based interventions for children and adolescents with ADHD: a systematic review and meta-analysis. Children, 8(2), 70. Disponible en: https://www.mdpi.com/2227-9067/8/2/70

[4] Kaplan-Rakowski, R., & Gruber, A. (2024). An experimental study on reading in high-immersion virtual reality. British Journal of Educational Technology, 55(2), 541-559. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4262124

[5] Araiza, P. (2020). Children's memory of a story experienced with virtual reality versus traditional media technology. Disponible en: https://ijvr.eu/article/view/3151

[6] Kunzova, N. (2023). Immersive reading in VR. Disponible en: https://dl.designresearchsociety.org/iasdr/iasdr2023/doctoralpapers/17/

[7] Biblio—Reading App for Books and Comics in VR - Price History and Deals. (s. f.). Disponible en: https://vrdb.app/game/biblio---reading-app-for-books-and-comics-in-vr/7448147755222436#:~:text=Rating%3A%203

[8] chronicbite. (2023, agosto 17). Just published Livro, a VR/AR Reader App for the Quest that lets you bring your favorite books, comics or manga into the digital world. [Reddit Post]. r/OculusQuest. https://www.reddit.com/r/OculusQuest/comments/15tsjrf/just_published_livro_a_vrar_reader_app_for_the/

[9] VR EBook by XRev Studio. (s. f.). Disponible en: https://xrev-studio.itch.io/vr-ebook.

[10] VRCoolReader. (s. f.). APKPure.Com. Disponible en: https://apkpure.com/vrcoolreader/vr.cool.reader.

[11] OculusRank. (s. f.). Meta Quest対応「XR Reader」Ver.0.3. Disponible en: https://oculusrank.com/?id=6161303843907695.

[12] VirtualBookViewer no Meta Quest. (s. f.). Oculus. Disponible en: https://www.meta.com/experiences/virtualbookviewer/2341468065880359/.

[13] UpReader—Apps en Google Play. (s. f.). Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.swenco.handsfreereader&hl=en_US.

[14] Pianzola, F., & Deriu, L. (2020, June). StoryVR: A virtual reality app for enhancing reading. In International Conference in Methodologies and intelligent Systems for Techhnology Enhanced Learning (pp. 281-288). Cham: Springer International Publishing. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-52287-2_29.

[15] The Future of ADHD Treatment? LSU's VR Research Aims to Help Students Focus and Succeed. (s. f.). Disponible en: https://www.lsu.edu/blog/2024/10/01vr_adhdresearch_rh.php.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ELOS: Aplicación basada en lógica difusa para la generación de rúbricas de evaluación de competencias en los estudiantes.

**Solé, Daniel**

***Universidad Atlántida Argentina***

**Resumen**
*La evaluación de competencias representa un reto en los entornos educativos actuales, ya que los métodos tradicionales no logran valorar adecuadamente habilidades complejas como el pensamiento crítico o la creatividad. Las rúbricas, aunque suelen resultar útiles, suelen construirse con criterios que no alcanzan a obtener una representación fiel del verdadero desempeño del estudiante.*

*La lógica difusa ofrece una alternativa innovadora, permitiendo manejar información imprecisa mediante variables lingüísticas y grados de pertenencia; lo que favorece a la creación de rúbricas más flexibles, adaptadas al aprendizaje por competencias.*

*Este proyecto propone el desarrollo de una aplicación que utilice lógica difusa para generar rúbricas, facilitando a los docentes una herramienta que se adapte mejor a los objetivos de una educación integral.*
*De esta manera, se busca mejorar los procesos de evaluación, fortaleciendo la conexión entre la enseñanza, el aprendizaje y su aplicación.*

*El proyecto actualmente se encuentra en una fase temprana de desarrollo.*

**Palabras Clave**
Lógica difusa.
Aprendizaje basado en competencias.
Sistema de asistencia.
Rúbrica.

## Introducción

En el entorno educativo actual, evaluar el desarrollo de competencias en los estudiantes representa un desafío cada vez mayor, dado que el método de educación tradicional (evaluar el aprendizaje con una nota en una instancia de parcial o final), de a poco está quedando obsoleto.

Se puede evaluar a un estudiante calificándolo con una nota, lo cual no significa que haya adquirido las competencias necesarias para implementar los conocimientos adquiridos en un empleo, desarrollo o emprendimiento.

A diferencia del aprendizaje basado en la asimilación de conceptos, el desarrollo de competencias, como, por ejemplo: el trabajo colaborativo, el pensamiento crítico, la creatividad o la resolución de problemas, requiere de un aprendizaje de carácter integral.

En general, las rúbricas de evaluación han sido utilizadas como herramientas para servir de soporte al docente a la hora de evaluar el rendimiento de los estudiantes; sin embargo, muchas de estas rúbricas se construyen con criterios limitados, que no reflejan con precisión el grado en que un estudiante adquiere determinada competencia.
Esto da como resultado una evaluación poco representativa del verdadero progreso del estudiante, generando una brecha entre lo que se pretende evaluar, y lo que el estudiante realmente aprende.

En este contexto, la lógica difusa surge como una alternativa que pretende introducir un mayor grado de flexibilidad y precisión en el diseño de instrumentos de evaluación.
Al permitir manejar información imprecisa o subjetiva mediante variables lingüísticas y grados de pertenencia, la lógica difusa facilita la creación de rúbricas que se adapten mejor a la realidad y al aprendizaje por competencias.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Desarrollo**

El proyecto se basa en el desarrollo de una aplicación web/móvil, que utilice lógica difusa para generar rúbricas que permitan evaluar el grado en que cada estudiante adquiere cada competencia a desarrollar (determinada por programa) en una cátedra en particular.

Se entiende por lógica difusa a un modo de razonamiento en el cual se aplican valores múltiples de verdad al realizar un análisis sobre el grado de pertenencia de una determinada variable a un criterio determinado.
En simples palabras, a diferencia de la lógica convencional, que solo basa su análisis de manera dual: verdadero o falso, la lógica difusa analiza el grado de pertenencia o grado de verdad de una variable, en un determinado contexto [1].

Por ejemplo, si se analiza si un estudiante es 'aplicado', la lógica convencional provee una respuesta dual: SI o NO, Verdadero o Falso, 0 o 1. La lógica difusa analiza el grado (tomando en cuenta todos los posibles valores comprendidos entre 0 y 1) en que ese estudiante es aplicado, por ejemplo: 0,7.

Por su parte, una rúbrica es, según Rosa Liarte, docente de Historia en el IES Eduardo Janeiro en Fuengirola (Málaga), "una herramienta para la evaluación y, en ocasiones, para la calificación que permite evaluar cada una de las competencias de forma detallada" [2].
La rúbrica tiene formato de tabla y suele tener dos elementos: una columna vertical que contempla los criterios de evaluación de un proyecto o tarea, y una columna horizontal que contiene los grados de calidad de esos criterios.

En cuanto a las competencias: son las habilidades, conocimientos y actitudes que un estudiante desarrolla y que ha de aplicar en situaciones reales y complejas, tanto en el ámbito académico como en el profesional.

Para el desarrollo de la plataforma web/móvil, la cual será ejecutada en Google Chrome/Android, se utilizará Flutter, ya que proporciona una plataforma completa para el diseño y desarrollo de la interfaz de usuario, y permite el uso de un solo lenguaje de programación (Dart) tanto para Web como para Smartphone.
Se usará MySQL para el desarrollo de la base de datos, ya que resulta práctica y de simple implementación.
Para escribir el código se ha de utilizar Visual Estudio Code, un editor de código fuente gratuito, multiplataforma, y de código abierto desarrollado por Microsoft.

Para realizar pruebas durante el desarrollo móvil, se ha de utilizar Android Studio, el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para desarrollar aplicaciones para Android.

En cuanto a la metodología, se ha decidido utilizar la metodología Kanban.
En primer lugar, Kanban se basa en un tablero visual, lo que permite visualizar con claridad el estado de cada tarea (por hacer, en progreso, hecho); a diferencia de Waterfall o Scrum, donde las tareas están más estructuradas por fases o sprints, Kanban permitirá mayor flexibilidad y practicidad.
No hay necesidad de dividir el trabajo en sprints (como en Scrum). Se podrá agregar, pausar o cambiar tareas sin necesidad de readecuar toda la planificación.
Además, es muy simple de implementar. Solo se necesita un tablero digital como Trello con columnas básicas.
Por último, no requieren roles específicos como un Scrum Master o Product Owner, lo que lo hace menos estructurado, pero más ágil para equipos de trabajo pequeños o individuales.

Si bien puede parecer que integrar los conocimientos de lógica difusa con la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aplicación del diseño de rúbricas pudiere resultar en mecanismos complejos, nada dista más de la realidad, dado que el funcionamiento intrínseco de la APP unifica los estamentos en que un criterio es alcanzado, al establecer un grado entre 0 y 1 para expresar el nivel de logro obtenido en cada uno de los mencionados criterios.
Para lograr que el resultado obtenido este dotado de verosimilitud, el backend de la APP realiza un calculo de lógica compensatoria en base al grado en que cada criterio analítico es alcanzado, disponiendo a su vez de los operadores AND y OR, lo que, además de servir para el calculo en si mismo, resulta asequible, dado que ofrecen un reflejo del lenguaje natural, lo que provee al usuario de un sentido de familiaridad, resultando en una experiencia más amena.
En ese sentido, el proyecto establece un nuevo marco lógico menos estructurado a nivel conceptual, que a su vez goza de pragmatismo, lo que contrasta con los trabajos existentes a la fecha.

**Trabajos Relacionados**

Existen diversos proyectos relacionados con el diseño de rúbricas analíticas. Si bien presentan características similares al proyecto ‘ELOS’, La aplicación propuesta se distingue de las anteriores en varios aspectos clave:

- Integración Directa de Lógica Difusa en una Aplicación Android: Mientras que algunos estudios aplican lógica difusa en entornos académicos o virtuales, pocos han desarrollado una aplicación web/móvil que incorpore esta lógica en la generación de rúbricas.
- Generación Dinámica y Personalizada de Rúbricas: A diferencia de herramientas como "Rubric Scorer", que se centra en la creación de rúbricas tradicionales, la app ‘ELOS’ utilizará lógica difusa a la hora de generar rúbricas basadas en el grado de asimilación de determinadas competencias a desarrollar durante el curso y del estudiante.
- Accesibilidad y Usabilidad para Docentes: La aplicación estará diseñada con una interfaz intuitiva que permita a los docentes, sin conocimientos técnicos avanzados, crear y modificar rúbricas, facilitando una evaluación más precisa y personalizada del desarrollo de competencias.

Estas características posicionan a la aplicación propuesta como una herramienta innovadora que combina la flexibilidad de la lógica difusa, con la practicidad de una aplicación web/móvil, ofreciendo una solución única para la evaluación de competencias en entornos educativos.

A continuación, se mencionan 2 proyectos:
"A Rubric Based Assessment of Student Performance Using Fuzzy Logic": Se presenta un sistema que utiliza rúbricas y lógica difusa para evaluar el rendimiento estudiantil en diversas actividades académicas, buscando una evaluación más precisa y objetiva.

"Rubric Scorer": Aplicación móvil diseñada para Android que permite a los docentes crear y utilizar rúbricas para evaluar el desempeño estudiantil, facilitando la calificación mediante una interfaz táctil.

**Conclusión**

El proyecto aún está en fase de desarrollo; ha demostrado su viabilidad conceptual y técnica, y está listo para avanzar hacia la construcción de una solución tangible que abordará una necesidad real en el ámbito educativo. Actualmente, se dispone de todas las herramientas necesarias para comenzar la codificación de una manera organizada y eficiente.

Se espera que la aplicación permita a los docentes generar rúbricas que faciliten la tarea de evaluar el grado en que los estudiantes adquieren las distintas competencias determinadas en el programa de una cátedra.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Además, se espera que el sistema favorezca la toma de decisiones al implementar futuras estrategias como, por ejemplo, ponderar una determinada competencia sobre otra de acuerdo a determinado contexto. Ejemplo: “este año se ha decidido darle mayor importancia a la competencia “trabajo en equipo, por lo que se sumará a la lista de competencias dentro de la rúbrica”.

Por último, pero no menos ambicioso, se espera que el sistema contribuya a comenzar a cambiar el viejo paradigma de evaluar a los estudiantes mediante notas en parciales/finales, aportando una visión más realista a los métodos de evaluación.

**Referencias**

1. Brage, L. (2005). Lógica difusa: ¿una nueva epistemología para las Ciencias de la Educación? ResearchGate. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Lluis-Brage/publication/28158231_Logica_difusa_una_nueva_epistemologia_para_las_Ciencias_de_la_Educacion/links/00b7d53230b43d7279000000/Logica-difusa-una-nueva-epistemologia-para-las-Ciencias-de-la-Educacion.pdf

2. Educación 3.0. (2023, 20 de noviembre). Evaluar con rúbricas: qué son, para qué sirven y cómo diseñar una. Educación 3.0. Recuperado de https://www.educaciontrespuntocero.com/noticias/evaluar-con-rubricas/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Plataforma para potenciar el rendimiento académico de estudiantes hispanohablantes en América Latina

**Agustin Ferrentino, Agustina Lopez, Roxana Martinez**
***Instituto de tecnología (INTEC)***
***Universidad Argentina de la empresa (UADE)***
*{aferrentino/agustinalopez/mariarmartinez}@uade.edu.ar*

**Abstract**

En este trabajo se presenta Study, una plataforma web impulsada por inteligencia artificial que busca mejorar el rendimiento académico de estudiantes hispanohablantes de nivel superior en América Latina. La propuesta surge a partir de la problemática por falta de organización en el estudio, dificultades de comprensión lectora y ausencia de herramientas adaptadas a distintos ritmos y estilos de aprendizaje.
Durante el desarrollo del mismo, se realizó una investigación documental y empírica que incluyó encuestas, entrevistas y análisis de mercado. A partir de las evidencias encontradas se desarrolló una solución que integra módulos de apuntes, resúmenes, prácticas, generación de evaluaciones adaptativas y un plan de estudio personalizado. Asimismo, se incorporan técnicas de Machine Learning, Procesamiento de Lenguaje Natural y Generación Aumentada por Recuperación para optimizar la interacción con los estudiantes.

**Palabras Clave**
Inteligencia Artificial, Educación Superior, Aprendizaje Personalizado, Machine Learning, Plataforma Web.

## 1. Introducción

La educación superior en América Latina enfrenta múltiples desafíos relacionados con la organización del estudio, la comprensión de contenidos y la falta de herramientas adaptadas a distintos estilos de aprendizaje. Según el Banco Mundial (2022), uno de cada cinco estudiantes no alcanza niveles mínimos de comprensión lectora, lo que afecta de forma directa su rendimiento académico. Organismos como UNESCO [5] y el Banco Interamericano de Desarrollo [3] remarcan la importancia de incorporar soluciones tecnológicas que permitan avanzar hacia un aprendizaje más flexible, inclusivo y personalizado.

En este contexto, surge la propuesta de Study, una plataforma web que integra inteligencia artificial para acompañar el proceso de estudio, personalizar el aprendizaje y centralizar recursos en un único entorno accesible.

### 1.1 Antecedentes

Diversos informes académicos y de organismos internacionales evidencian deficiencias en la organización del estudio y en las metodologías tradicionales utilizadas en la educación superior. Según Biggs, el modelo educativo actual suele centrarse en la transmisión de contenidos por parte del docente, sin considerar de forma suficiente los diferentes ritmos y estilos de aprendizaje de los estudiantes [2]. Otros estudios realizados por la Universidad Andrés Bello [4] identifican que la falta de gestión y organización del estudio es uno de los principales factores que afectan el desempeño académico. Por último, La UNESCO [5] propone la adopción de enfoques más personalizados y flexibles, mientras que el BID [3] considera la transformación digital como condición necesaria para mejorar la calidad educativa.
Estas evidencias refuerzan la necesidad de diseñar herramientas innovadoras que no solo transmiten información, sino que acompañan, organizan y personalizan la experiencia de estudio.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 1.2 Problemática

La investigación realizada permitió identificar una problemática central que atraviesa a los estudiantes latinoamericanos en su formación académica de nivel superior. Esta problemática se manifiesta en tres dimensiones principales que, en conjunto, condicionan tanto el rendimiento como la continuidad de sus carrera educativas:

- **Falta de organización:** la ausencia de un sistema centralizado que guíe y ordene el proceso de estudio obliga a los estudiantes a gestionar sus tiempos y materiales de manera fragmentada. Esto genera sobrecarga cognitiva, pérdida de foco y dificultad para priorizar tareas según plazos o relevancia. En momentos de alta exigencia académica, como parciales y finales, esta carencia se intensifica y se traduce en estrés, agotamiento y menor efectividad en el aprendizaje.

- **Dificultades de comprensión:** la complejidad de lecturas extensas y de textos especializados representa un obstáculo recurrente. Esta limitación no solo restringe la preparación adecuada para evaluaciones, sino que también compromete la construcción de bases sólidas para materias posteriores. La falta de estrategias o apoyos que faciliten la comprensión provoca inseguridad en los estudiantes, retrasos en el avance académico y menor confianza en su capacidad de aprender.

- **Carencia de herramientas adaptadas:** la inexistencia de soluciones digitales que contemplen distintos ritmos y estilos de aprendizaje limita la autonomía y la motivación. Los recursos disponibles suelen ser estáticos y homogéneos, sin atender a la diversidad de necesidades individuales. Esto impide que los estudiantes encuentren un acompañamiento dinámico que los ayude a mantener constancia en el estudio y a superar sus dificultades de manera personalizada.

Estas problemáticas se traducen en un círculo de frustración, bajo rendimiento y, en muchos casos, abandono de la formación universitaria. De este modo, se refuerza la necesidad de generar soluciones innovadoras que no solo centralicen y organicen el proceso de estudio, sino que también promuevan la comprensión y ofrezcan herramientas flexibles capaces de adaptarse a la diversidad del alumnado.

### 1.3 Objetivos

**Objetivo general:**

Desarrollar una plataforma web impulsada por inteligencia artificial para potenciar y mejorar el rendimiento académico de estudiantes hispanohablantes de América Latina en instituciones de educación superior en el año 2025.

**Objetivos específicos**

- Relevar las necesidades académicas mediante encuestas y entrevistas a estudiantes de distintas universidades.

- Analizar la competencia existente en América Latina.

- Implementar un modelo de *machine learning* que prediga el desempeño en exámenes y permita generar estadísticas de progreso académico.

- Desarrollar una interfaz intuitiva que facilite el uso de la plataforma.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Crear un módulo de generación de exámenes adaptado al perfil del estudiante.

- Implementar un sistema de gestión de archivos que asista a la IA en la resolución de dudas conceptuales.

## 2. Contexto relevado

Con el objetivo de validar la problemática identificada y comprender en profundidad las necesidades de los estudiantes, se llevó a cabo un proceso de relevamiento que incluyó encuestas, entrevistas y un análisis del mercado actual de soluciones educativas.

### 2.1 Encuestas

Con el fin de validar la hipótesis, se llevó a cabo una encuesta dirigida a estudiantes de educación superior de América Latina con el objetivo de identificar las principales dificultades que enfrentan en su vida académica y, a partir de ellas, justificar la necesidad de una solución tecnológica que integre apoyos de manera centralizada.

El relevamiento se realizó de forma online entre el 15 y el 22 de abril de 2025, obteniendo 155 respuestas. Esta modalidad facilitó la difusión y recolección de datos, permitiendo una muestra diversa con participantes de distintas universidades, carreras y países. La mayoría de las respuestas provinieron de Argentina (93,6%), seguidas por Chile, Perú y Venezuela. En cuanto a la edad, predominó el grupo de 18 a 22 años (48,2%), seguido por 23 a 27 años (35,5%), representando así al estudiantado activo de la región.

Los resultados reflejan la relevancia del problema: el 59,6% de los encuestados manifestó dificultades frecuentes o eventuales para comprender los contenidos explicados en clase. Frente a esto, el 83% recurre a explicaciones en internet, el 66% utiliza herramientas tecnológicas como *ChatGPT* y el 57,4% relee el material por su cuenta. Estos datos evidencian tanto la fragmentación de las fuentes de apoyo como la ausencia de una herramienta unificada que centralice el acceso al conocimiento.

En síntesis, la encuesta validó la hipótesis inicial y permitió dimensionar la magnitud del desafío. Los hallazgos refuerzan la necesidad de una plataforma que centralice, organice y potencie los recursos disponibles, mejorando la comprensión de los contenidos y el rendimiento académico de los estudiantes latinoamericanos.




*Figura 1: Resultados encuesta al público.*

*(Desarrollo propio, 2025)*

### 2.2 Entrevistas

Para profundizar en la experiencia cotidiana del estudio, se realizaron encuestas orientadas a identificar las principales dificultades, hábitos y percepciones de los estudiantes en su proceso de aprendizaje.

A través de los testimonios, se buscó comprender de manera directa las principales dificultades, hábitos y percepciones de los estudiantes frente al uso de la tecnología en su aprendizaje.

Juan Ignacio Urruzuno destacó que una de sus mayores dificultades es mantener la concentración durante largas jornadas de estudio, lo que afecta su organización y genera frustración. Suele recurrir a recursos externos como videos o blogs para comprender mejor los temas, lo que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



evidencia la falta de herramientas integradas de apoyo.

Por su parte, Constantino Monteavaro mencionó que, aunque intenta planificar su estudio con anticipación, utiliza múltiples plataformas sin lograr centralizar sus apuntes, lo que genera dispersión y pérdida de continuidad. No obstante, valoró positivamente el uso de tecnología educativa por su potencial para mejorar la eficiencia del aprendizaje.

En conjunto, las entrevistas reflejan la necesidad de un acompañamiento más personalizado, la centralización de materiales y la incorporación de un asistente inteligente que facilite la organización y potencie la experiencia académica.

### 2.3 Análisis del mercado actual

A su vez, el relevamiento incluyó la evaluación de soluciones disponibles en el mercado, como Thea, StudyBuddy, Mindgrasp y YesChat AI Student, que ofrecen funcionalidades específicas como generación de resúmenes o exámenes automatizados. Sin embargo, estas herramientas presentan limitaciones en cuanto a:

- La integración de múltiples funcionalidades en un mismo entorno.
- La adaptación al perfil particular de cada estudiante.
- La orientación al contexto regional latinoamericano y a estudiantes hispanohablantes.

### 2.4 Conclusiones del relevamiento

Los resultados del proceso de investigación permiten concluir que existe una necesidad real y no cubierta en el ámbito educativo superior: la falta de una plataforma integral que unifique la organización, las técnicas de estudio y la personalización del aprendizaje. Este diagnóstico sustenta la pertinencia y el valor diferencial de Study frente a las soluciones actuales.

## 3. Propuesta

Study integra funciones para crear apuntes, generar resúmenes automáticos, aplicar técnicas de estudio como mapas conceptuales, fichas, Pomodoro o Feynman, y realizar prácticas adaptativas. También incluye planes de estudio personalizados y un módulo de evaluaciones dinámicas que, mediante *machine learning*, predice el desempeño y ajusta la dificultad de los exámenes.

El asistente virtual, basado en *PLN* y *RAG*, responde consultas con información contextual aprovechando los archivos subidos por los usuarios.

En cuanto a la arquitectura, combina un frontend en React JS con Chakra UI, un backend en Spring Boot y bases de datos PostgreSQL (PgVector) y MongoDB, optimizando la gestión y búsqueda semántica de la información.

El valor diferencial radica en unificar herramientas de aprendizaje en un solo entorno, priorizando la personalización y la adaptación al contexto latinoamericano.

### 3.1 Arquitectura de Aplicación

La arquitectura propuesta para Study se presenta en la figura 1. En la capa de frontend, la aplicación se desarrolló con React y TypeScript, garantizando tipado estático, detección temprana de errores y alta mantenibilidad. Se integró Chakra UI para lograr una interfaz coherente, accesible y rápida de implementar, mientras que React Router gestiona la navegación y Axios facilita las peticiones HTTP y respuestas asincrónicas. Además, Context API se utiliza para manejar el estado global, ofreciendo una experiencia fluida al usuario.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En la capa de backend, se empleó Spring Boot 3.3.x, junto con Spring Security configurado con JWT para la autenticación y control de sesiones, y políticas CORS para restringir accesos a dominios autorizados. La comunicación con el frontend se realiza mediante una REST API, documentada con Swagger/OpenAPI, lo que asegura claridad, mantenibilidad e integración con servicios externos.

La capa de servicios aplica el *Service Layer Pattern* para centralizar la lógica de negocio, incluyendo validaciones, control transaccional, manejo de excepciones e integraciones con servicios externos, entre ellos la API de OpenAI y módulos de Machine Learning. Estas integraciones permiten generar contenido automáticamente y realizar análisis adaptativos, pilares fundamentales del valor diferencial de Study.

La persistencia de datos se implementó siguiendo el *Repository Pattern*, utilizando Spring Data JPA y Spring Data MongoDB, lo que facilita consultas personalizadas, separación de responsabilidades y mejor rendimiento mediante *connection pooling*.

Finalmente, el esquema de bases de datos adoptado es híbrido: PostgreSQL gestiona las entidades principales y las relaciones transaccionales bajo propiedades ACID, garantizando consistencia y fiabilidad; mientras que MongoDB almacena información dinámica como resúmenes generados, métricas, intentos de examen e interacciones de usuarios, aprovechando su flexibilidad y escalabilidad horizontal.

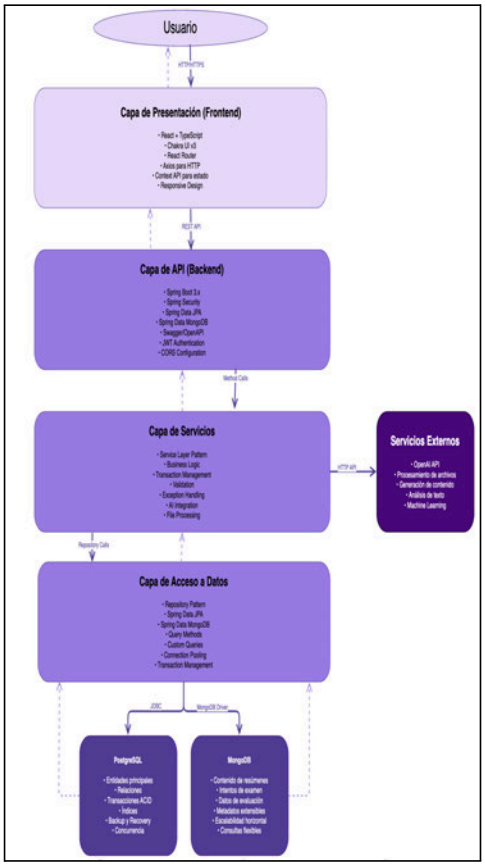



*Figura 2: Diagrama de Aquitectura. (Desarrollo propio, 2025)*

### 3.2 Diagrama de Clases

El sistema se modeló mediante un diagrama de clases que integra las entidades académicas centrales con los componentes de inteligencia artificial y evaluación adaptativa. El objetivo de este modelo es representar los atributos, responsabilidades y multiplicidades de cada clase, en coherencia con los módulos funcionales ya definidos, como apuntes, resúmenes, prácticas, plan de estudio, evaluaciones dinámicas y asistente contextual, y con la arquitectura de dos bases de datos, PostgreSQL y MongoDB, establecida para la plataforma.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En el núcleo académico, almacenado en PostgreSQL, se encuentran las clases Usuario, Estudio, Carpeta, Archivo, Apunte, Examen, Tema y PlanEstudio. Estas entidades permiten organizar los recursos de manera jerárquica y garantizan la coherencia en la gestión de materiales académicos. Un usuario puede tener múltiples estudios, cada estudio puede incluir carpetas y archivos asociados, además de exámenes y planes de estudio. Los exámenes contienen temas que detallan los contenidos evaluables, mientras que los planes de estudio agrupan actividades calendarizadas que se relacionan con los temas y que presentan estados como activo, pausado, completado o cancelado. Las actividades, a su vez, pueden encontrarse en estado pendiente, en proceso, completadas o canceladas, lo que asegura consistencia en el seguimiento del aprendizaje.

El modelo contempla también las clases orientadas a la generación de contenido y a la evaluación adaptativa. Dentro de este grupo se encuentran GeneratedExam, Question, TeacherProfile y ExamAttempt. GeneratedExam representa los exámenes creados de manera dinámica a partir de materiales cargados y del perfil del estudiante o del docente, y se compone de un conjunto de preguntas con distinto nivel de dificultad y tipo de respuesta. El TeacherProfile incorpora las características del docente, como estilo de evaluación o nivel de exigencia, mientras que ExamAttempt, almacenado en MongoDB, registra cada intento del estudiante incluyendo métricas de desempeño, puntuación obtenida y retroalimentación.

En relación con la funcionalidad de resúmenes y trazabilidad de fuentes, el diagrama incorpora las clases Summary y SummarySource, que permiten almacenar los resúmenes generados automáticamente y vincularlos con sus fuentes de origen, ya sean archivos, fragmentos o referencias externas. Estas entidades se complementan con SummaryContent, también persistido en MongoDB, que contiene metadatos y representaciones vectoriales necesarias para consultas semánticas, y con Chat y Message, que modelan las interacciones del usuario con el asistente inteligente de la plataforma.

### 3.3 Diagrama de base de datos

Para almacenar la información en *Study* se utilizaron las dos bases de datos mencionadas anteriormente. En PostgreSQL se modelaron las entidades principales del sistema, tales como usuarios, estudios, carpetas, archivos, exámenes, planes de estudio, actividades y temas, junto con sus relaciones y estados asociados. Por otro lado, en MongoDB se almacenan los datos como los resúmenes generados, intentos de examen y contenidos asociados a los chats con IA. Estos documentos incluyen metadatos, configuraciones de generación y respuestas del estudiante, lo que brinda mayor capacidad de escalabilidad horizontal y consultas dinámicas. De esta forma, PostgreSQL asegura la consistencia en las entidades principales, mientras que MongoDB ofrece la flexibilidad necesaria para manejar contenido dinámico y no estructurado propio de las funcionalidades basadas en inteligencia artificial de la plataforma. El mismo puede verse en la figura 3.

Además, la combinación de ambas bases de datos responde a un enfoque híbrido que permite aprovechar las ventajas de los modelos relacional y documental. Esta arquitectura posibilita mantener la integridad referencial en los datos críticos y, al mismo tiempo, optimizar la búsqueda semántica y el almacenamiento de información no estructurada. La utilización de *PgVector* dentro de PostgreSQL refuerza esta integración, dado que habilita operaciones de similitud y recuperación de embeddings generados por la IA. A su vez, la elección de MongoDB garantiza tiempos de respuesta adecuados frente a altos volúmenes de consultas concurrentes. Este

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



diseño favorece la escalabilidad del sistema frente a escenarios de mayor demanda de usuarios. Finalmente, la estrategia planteada asegura que la plataforma pueda evolucionar de manera sostenida sin comprometer la estabilidad de los datos centrales.

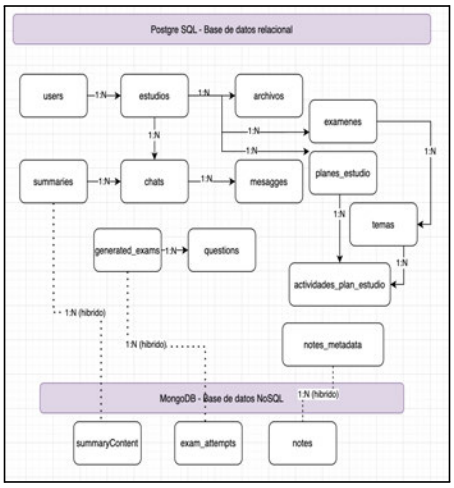



*Figura 2: Diagrama de Base de Datos. (Desarrollo propio, 2025)*

## 4. Análisis de resultados

Las pruebas preliminares incluyeron los módulos de resúmenes automáticos, asistente contextual, apuntes y extracción de temarios y fechas clave. La plataforma identificó correctamente los temas principales y generó resúmenes coherentes, aunque con algunas repeticiones o explicaciones generales. El asistente contextual respondió con precisión a preguntas simples, pero mostró limitaciones ante consultas complejas, señalando la necesidad de optimizar el modelo. La extracción de temarios y fechas clave fue satisfactoria. Pese a algunos inconvenientes menores propios de una etapa inicial, se espera que se reduzcan con el aumento de datos y el ajuste de los modelos.

### 4.1 Funcionamiento de Study

Study utiliza un enfoque integral para acompañar el proceso académico de los estudiantes. El funcionamiento de la plataforma se organiza en diferentes etapas que permiten transformar los materiales de estudio en una experiencia personalizada y dinámica:

- Carga y organización de contenidos: el estudiante puede subir apuntes, resúmenes o archivos, que son almacenados y estructurados dentro de la plataforma.
- Procesamiento inteligente: mediante técnicas de *machine learning* y *procesamiento de lenguaje natural*, los documentos se analizan para extraer conceptos clave y generar materiales adaptados.
- Generación de resúmenes y prácticas: a partir de los contenidos cargados, el sistema produce resúmenes, cuestionarios y actividades de refuerzo que facilitan la comprensión de los temas.
- Diagnóstico del rendimiento: los resultados obtenidos en las prácticas permiten identificar fortalezas y debilidades, lo que constituye la base para personalizar el proceso de estudio.
- Plan de estudio adaptativo: el sistema propone un cronograma que organiza los tiempos y actividades según el perfil y las necesidades del estudiante.
- Evaluaciones dinámicas: mediante modelos predictivos como Random Forest, se generan exámenes ajustados al nivel del usuario, ofreciendo retroalimentación inmediata.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Asistencia personalizada: un asistente virtual potenciado por RAG responde consultas en tiempo real, enriqueciendo las explicaciones con información contextualizada y vinculada a los archivos del estudiante.

Este funcionamiento asegura que el estudiante disponga de un entorno unificado que organiza, diagnóstica y potencia su proceso de aprendizaje de manera continua y personalizada.

## 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

El principal aporte de Study es permitir a los estudiantes de nivel superior superar las dificultades más comunes en su trayectoria académica, como la falta de organización, comprensión lectora y la ausencia de herramientas adaptadas a distintos estilos de aprendizaje. Tradicionalmente, el proceso de estudio depende de la disciplina individual y de la capacidad de los alumnos para organizar sus recursos, lo que genera sobrecarga cognitiva y baja eficiencia. Sin embargo, con el avance de la inteligencia artificial, surgen nuevas oportunidades para transformar esta experiencia, integrando tecnología que acompañe, diagnostique y potencie el aprendizaje.

Al utilizar técnicas de *machine learning*, Study puede predecir el desempeño en evaluaciones y ajustar dinámicamente la dificultad de las prácticas, ofreciendo una perspectiva innovadora que desafía los métodos tradicionales de estudio. Asimismo, mediante procesamiento de lenguaje natural y RAG, la plataforma brinda un asistente contextual que responde de manera personalizada, adaptando la información al nivel y las necesidades de cada estudiante. De esta forma, la IA se convierte en una herramienta colaborativa que no reemplaza el esfuerzo del alumno, sino que lo complementa y amplifica, ofreciendo nuevas formas de organizar el tiempo, comprender contenidos y prepararse para exámenes.

El estado actual de la educación en América Latina plantea tanto desafíos como oportunidades para la incorporación de inteligencia artificial en entornos de aprendizaje. En este sentido, Study representa un aporte innovador y contextualizado, con el potencial de mejorar la calidad educativa y reducir brechas en el acceso a recursos personalizados.

Como futuras líneas de trabajo se prevé continuar con el entrenamiento de los modelos de IA, ampliar la base de datos de interacciones estudiantiles para perfeccionar las predicciones de desempeño, y desarrollar nuevas funcionalidades como la integración de evaluaciones orales, la incorporación de técnicas de gamificación y la expansión a otros idiomas. Estas mejoras permitirán consolidar la plataforma como una solución escalable y de alto impacto en el ámbito de la educación superior.

**Referencias**

[1] Banco Mundial. (2022). *Informe sobre educación en América Latina*. Washington, DC: Banco Mundial.

[2] Biggs, J. B. (1999). *Teaching for Quality Learning at University*. Buckingham: Open University Press.

[3] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2022). *La transformación digital en la educación: una condición necesaria para mejorar la calidad del aprendizaje*. Washington, DC: BID.

[4] Universidad Andrés Bello. (2022). *Informe sobre gestión y organización del estudio en educación superior*. Santiago de Chile: UNAB.

[5] UNESCO. (2022). *Transforming Education Summit Report*. París: UNESCO.

[6] IBM. (s.f.). Machine learning. Consulta realizada el 30/08/2025. Disponible en: https://www.ibm.com/machine-learning

[7] IBM. (s. f.). *Random Forest*. Consulta realizada el 09/05/2025. Disponible en: https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/random-forest

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[8] Instituto Europeo de Posgrado. (s.f.). *¿Qué es el método Pomodoro? Origen, beneficios y aplicación*. Consulta realizada el 06/05/2025. Disponible en: https://iep.edu.es/que-es-el-metodo-pomodoro/

[9] Instituto Profesional de Enseñanza Superior. (2020, 22 agosto). *Técnicas de estudio: fichas de estudio. 5 ventajas*. Consulta realizada el 06/05/2025. Disponible en: https://institutoipes.edu.ar/2020/08/22/tecnicas-de-estudio-fichas/?utm_source=chatgpt.com

[10] Islam, N., Islam, Z., & Noor, N. (2017). A Survey on Optical Character Recognition System. *arXiv*. Consulta realizada el 30/08/2025. Disponible en: https://arxiv.org/abs/1710.05703

[11] Karlsson, A. (2021). *Evaluating the state of accessibility in React UI component libraries* [Bachelor's thesis, Malmö University]. Consulta realizada el 09/05/2025. Disponible en: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1568285/FULLTEXT01.pdf

[12] Laca Olivos Chang, L. J. M. (2024). *Gamificación como estrategia para mejorar la motivación en estudiantes universitarios en América Latina*. Scielo Bolivia. Consulta realizada el 07/09/2025.

[13] Microsoft. (s. f.). *What is Java Programming Language*. Consulta realizada el 09/05/2025. Disponible en: https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-java-programming-language

[14] Merino-Campos, C. (2025). The Impact of Artificial Intelligence on Personalized Learning in Higher Education: A Systematic Review. *Trends in Higher Education, 4*(2), 17. Consulta realizada el 30/08/2025. Disponible en: https://www.mdpi.com/2813-4346/4/2/17

[15] Melo-Fiallos, D. F. (2024). *Los hábitos de estudio y el rendimiento académico de los estudiantes*. Consulta realizada el 07/09/2025. Disponible en: doi.org/10.33386/593dp.2024.1-1.2271188

[16] Salas-Pilco, S. Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence applications in Latin American higher education: A systematic review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 19*, Artículo 21. Consulta realizada el 30/08/2025. Disponible en: https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-022-00326-w

[17] UNESCO. (2022). *Reimaginar juntos nuestros futuros: un nuevo contrato social para la educación*. París: UNESCO. Consulta realizada el 07/09/2025. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707

[18] Unidad de Planeación, Evaluación y Seguimiento Académico. (2021). *Fascículo 4: Técnicas didácticas de enseñanza y aprendizaje*.

[19] Universidad Abierta y a Distancia de México. Consulta realizada el 06/05/2025. Disponible en: https://www.unadmexico.mx/images/descargables/publicaciones360/Fasciculo_4_IMPRESION_BN

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# MCP LOGS: Agente inteligente con herramientas integradas para reducir el MTTR en incidentes de TI.

**Carlos Andres Briend**
**Joaquin Manuel Suárez**
***Universidad de la Cuenca del Plata***

**Resumen**
*La gestión de incidentes en entornos de Tecnologías de la Información (TI) modernos se enfrenta a desafíos significativos debido a la creciente complejidad de las infraestructuras, lo que resulta en tiempos prolongados de investigación y resolución (Tiempo Medio de Resolución, MTTR). Ante esta problemática, se propone el desarrollo de un agente autónomo, denominado "MCP LOGS", diseñado para mitigar estas ineficiencias en los procesos de investigación y resolución de incidentes. Los posibles agentes utilizarán un modelo de lenguaje LLM (Large Language Model) para interpretar registros de errores y, a través de la Generación Aumentada por Recuperación (RAG), sintetizarán soluciones concretas basadas en bases de conocimiento internas (de una empresa) o externas (proveedores de servicios). Los hallazgos del estado del arte confirman que, si bien el mercado de Inteligencia Artificial para Operaciones de TI (AIOps) está en crecimiento, existe una brecha para una solución integral que pase de la simple asistencia a la autonomía en la resolución de incidentes, lo que valida la contribución de este proyecto. La innovación de esta propuesta radica en su arquitectura unificada que integra la ingesta de alertas, el análisis contextual, la síntesis de soluciones y la documentación automática en un solo ciclo de vida, lo que lo diferencia de las soluciones comerciales actuales que se enfocan en la asistencia al agente.*

**Palabras Clave**
Model Context Protocol, Tiempo Medio de Reparación, Large Language Model, Retrieval-Augmented Generation, Inteligencia Artificial

## Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente de incidentes y la reducción del Mean Time to Repair (MTTR) constituyen uno de los principales desafíos dentro de las áreas de sistemas y operaciones de las organizaciones. La creciente complejidad de las infraestructuras tecnológicas, sumada a la diversidad de proveedores y fabricantes de software y hardware —como Fortinet, Prometheus o entornos de ejecución Node.js—, ha generado un escenario donde la detección, el diagnóstico y la resolución de fallas se convierten en procesos críticos que impactan directamente en la continuidad del negocio [1, 2].

En este contexto, los incidentes suelen gestionarse a través de tickets de soporte, que representan solicitudes o reportes de fallas clasificadas según su complejidad. Generalmente, los tickets de nivel 1 abarcan problemas básicos y recurrentes; los de nivel 2 requieren conocimientos técnicos intermedios; y los de nivel 3 implican incidentes críticos o altamente especializados que demandan la intervención de ingenieros senior o expertos en sistemas.

El presente trabajo se desarrolla en el marco de un Trabajo Final de la Carrera con el objetivo de abordar estos desafíos. Este estudio se orienta al desarrollo e implementación de uno o varios agentes MCP (Model Context Protocol) capaces de recibir, procesar y gestionar alertas provenientes de los sistemas. Los agentes utilizan un modelo de lenguaje LLM (Large Language Model) para interpretar los registros de errores (logs), realizan búsquedas tanto en la base de conocimiento interna de la empresa como en las documentaciones externas de los fabricantes, y sintetizan soluciones concretas que luego son enviadas al responsable o administrador a través de un servidor SMTP (Protocolo Simple de Transferencia de Correo). El enfoque integra además técnicas de Retrieval Augmented Generation (RAG) para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mejorar la pertinencia de las respuestas, así como flujos de trabajo (Workflows) que permiten la automatización de tareas repetitivas.

La contribución fundamental de esta propuesta radica en el cierre de la brecha existente entre las herramientas de monitoreo y las plataformas ITSM [3], creando un flujo de trabajo continuo desde la detección hasta la documentación. A diferencia de las plataformas existentes que se centran en la asistencia al agente humano [4], la propuesta de este agente aspira a cerrar la brecha entre las herramientas de monitoreo y la generación de soluciones. Su principal aporte es el desarrollo de un marco que no solo mejora la eficiencia, sino que también transforma el ciclo de vida del incidente, posicionando al agente como un generador de soluciones autónomo, y no solo como un asistente, un vacío de mercado identificado en la literatura reciente [5].
El problema que se busca resolver está asociado a la ineficiencia en la gestión de incidentes, donde los equipos de soporte y administración de sistemas suelen enfrentar tiempos prolongados en la investigación y resolución de errores debido a la dispersión de la información técnica y la falta de un repositorio unificado de conocimiento actualizado. No tan solo eso, la herramienta permite transformar posibles tickets de soporte de nivel 3 a tickets de soporte nivel 2, los cuales pueden ser resueltos por un Desarrollador Junior leyendo la síntesis entregada por la herramienta.
Los tickets de soporte nivel 2 son incidencias técnicas de complejidad intermedia que requieren conocimientos especializados y análisis más profundo, como problemas de conectividad de red, configuraciones avanzadas de software, fallas de hardware específico o errores de sistema que no pudieron ser resueltos por el nivel 1 y necesitan técnicos con mayor experiencia. Los tickets de soporte nivel 3 corresponden a los casos más críticos y complejos del sistema de soporte técnico, involucrando problemas de alta prioridad como fallas masivas de infraestructura, vulnerabilidades de seguridad críticas, desarrollos de parches personalizados, escalaciones ejecutivas o incidentes que requieren la intervención de ingenieros senior, arquitectos de sistemas o especialistas con el máximo nivel de expertise técnico disponible en la organización. La propuesta busca disminuir de manera significativa el MTTR, mejorar la productividad del personal técnico y evitar la duplicidad de esfuerzos al documentar automáticamente incidentes no registrados previamente en la base de conocimiento de la organización.
La utilidad esperada de la solución radica en la creación de un ecosistema de soporte inteligente y proactivo, que no solo reduce el tiempo de respuesta frente a fallas, sino que también fortalece la gestión del conocimiento empresarial. Sus aplicaciones prácticas abarcan desde la resolución inmediata de problemas recurrentes en sistemas críticos, hasta la generación continua de documentación para futuros incidentes, constituyendo así un ciclo de retroalimentación que mejora progresivamente la capacidad de la organización para enfrentar contingencias.

**Trabajos relacionados**

El campo de la gestión de servicios de tecnologías de la información (ITSM) y las Inteligencia Artificial para Operaciones (AIOps) ha evolucionado rápidamente, integrando el aprendizaje automático y la Inteligencia Artificial (IA) para mejorar la eficiencia operativa. No obstante, un análisis crítico [2] revela que las soluciones existentes, si bien son avanzadas, presentan un enfoque que se diferencia de la propuesta de un agente autónomo como el MCP LOGS.

**Panorama del mercado y la evolución de las Plataformas ITSM**

El mercado de AIOps, al que pertenece intrínsecamente este proyecto, se estima en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



27.24 mil millones de dólares en 2024, con una proyección de crecimiento que lo sitúa en 79.91 mil millones de dólares para 2029 [6, 7]. Actores líderes como ServiceNow, IBM Corporation y Splunk Inc. ya ofrecen soluciones robustas de análisis de registros y monitoreo con IA [8, 9, 7].

Las plataformas líderes en ITSM, como ServiceNow, Freshservice, Zendesk, y Jira Service Management, han integrado capacidades de IA para mejorar la clasificación y el enrutamiento automático de tickets, la detección de causa raíz y la implementación de asistentes virtuales [10, 10, 11, 12, 13]. A continuación, se presenta un resumen de las funcionalidades de IA clave y el enfoque de resolución de las principales plataformas ITSM en la Tabla 1. Sin embargo, como se ha observado en la industria [14], el enfoque predominante de estas plataformas se orienta a mejorar la eficiencia de las operaciones, no a alcanzar una automatización completa. Ofrecen "sugerencias de resolución" o un "motor de IA" para ayudar a los agentes a encontrar respuestas, pero el rol del ser humano sigue siendo central en el diagnóstico y la resolución final [10]. En contraste, el Agente MCP propone un nivel de autonomía superior al sintetizar una solución completa y concreta sin la intervención inicial de un agente, lo que lo posiciona como un "agente resolutor" y no como un simple asistente.

| Plataforma (IA) | Funcionalidades de IA Clave | Enfoque de Resolución |
|---|---|---|
| ServiceNow [12] | Inteligencia Predictiva, Agente Virtual con IA Conversacional, Automatización de Workflows Complejos. | Asistencia avanzada al agente, sugerencias de resolución y clasificación de tickets. |
| Freshservice [13] | Motor Freddy AI, Asistente virtual, Clasificación y asignación inteligente. | Sugerencia de resolución, automatización de tareas repetitivas de primer nivel. |
| Zendesk [11] | Sugerencias automáticas, IA para priorización, Bot conversacional. | Asistencia multicanal, enrutamiento dinámico, mejora de la experiencia del cliente (CX). |
| Jira Service Management [10, 15] | Atlassian Intelligence para respuestas rápidas, Agente de servicio virtual, Agrupación de tickets. | Automatización de soporte de Nivel 3, centralización de alertas, colaboración entre equipos de IT y DevOps. |

*Tabla 1: Comparativa de Plataformas ITSM con Capacidades de IA*

**Patrones Arquitectónicos y la Frontera de la Investigación**

La arquitectura propuesta para el Agente MCP se alinea con patrones de vanguardia como la Generación Aumentada por Recuperación (RAG), que permite a los LLMs acceder a fuentes de datos externas y actualizadas para generar respuestas más precisas [16,17]. Este patrón es fundamental para el proyecto, ya que permite al agente acceder a la base de conocimiento de la empresa y a la documentación externa de los fabricantes, reduciendo así las "alucinaciones" (respuestas falsas) [16].

En un contexto de infraestructura de TI, una mejora arquitectónica significativa podría ser la integración de un Grafo de Conocimiento (KG). Un KG representa los datos como una red de entidades y relaciones, lo que permite un razonamiento más profundo sobre cómo un fallo en un componente afecta a otro [18, 19, 20]. La combinación del RAG y el KG, un enfoque conocido como RAG de Grafo de Conocimiento (GRAG), podría fusionar la recuperación de información no estructurada con el razonamiento sobre la topología de la infraestructura, lo que aceleraría drásticamente el análisis de la causa raíz [21].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para ilustrar las diferencias entre estos enfoques, la Tabla 2 compara las características clave del RAG tradicional, el Grafo de Conocimiento (KG) y la combinación de ambos, el RAG de Grafo de Conocimiento (GRAG).

| **Característica** | **RAG** | **KG** | **GRAG** |
|---|---|---|---|
| Modelo de Datos | Representaciones vectoriales de documentos | Entidades (nodos) y relaciones (bordes) | Híbrido: vectores y grafos |
| Capacidad de Razonamiento | Búsqueda de similitud semántica | Razonamiento sobre relaciones complejas | Búsqueda y razonamiento sobre interconexiones |
| Mantenimiento | Carga de datos, regeneración de embeddings | Definición de ontologías, actualización de relaciones | Más complejo, requiere la integración de ambos |
| Reducción de Alucinaciones | Alta, al basarse en fuentes específicas | Inherente, al ser un modelo estructurado | Muy alta, al combinar el conocimiento estructurado con el contextual |

*Tabla 2: RAG vs. Grafo de conocimiento: análisis de arquitecturas*

En el ámbito académico, un trabajo de Kim Hammar respalda la premisa de la propuesta desarrollada en este artículo. Su investigación demuestra que un LLM "ligero" puede utilizarse para la planificación de respuestas a incidentes, reduciendo los tiempos de recuperación hasta en un 22% y minimizando las alucinaciones en comparación con modelos de lenguaje de frontera [22]. Este estudio confirma que el uso de LLMs para la respuesta a incidentes es un campo de investigación formalmente reconocido y productivo.

En síntesis, como se muestra en las Tablas 1 y 2, si bien el mercado de AIOps ya implementa la IA, la innovación del MCP LOGS no reside en el uso de la IA per se, sino en su arquitectura unificada y su enfoque integral del ciclo de vida completo del incidente, trascendiendo la simple asistencia al agente para sintetizar soluciones completas y documentar la resolución automáticamente.

## Diseño Arquitectónico y funcional del Agente MCP

La arquitectura del Agente MCP se define como un marco unificado y modular, diseñado para gestionar el ciclo de vida completo de un incidente de TI. Su principal objetivo es automatizar la fase de diagnóstico y resolución de Nivel 3, lo que permite que el personal técnico se enfoque en problemas de mayor complejidad.

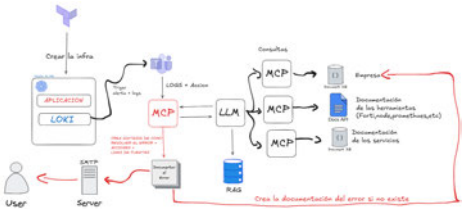



*Figura 1: Arquitectura del sistema a desarrollar*

En la figura 1 podemos observar la arquitectura propuesta, la cual se compone de las siguientes etapas interrelacionadas:

- *Ingesta de alertas*: la capacidad de ingesta del agente se fundamenta en la recepción de notificaciones y logs de error a través de múltiples canales, como webhooks de sistemas de monitoreo (e.g., Prometheus), servidores de syslog o correos electrónicos enviados a un servidor de Protocolo Simple de Transferencia de Correo (SMTP). Esta etapa garantiza una integración flexible con la infraestructura de TI existente, permitiendo que el sistema se adapte a diversos entornos operativos.

- *Análisis e interpretación del Log (LLM):* la interpretación de los logs es un proceso central en el cual un modelo de lenguaje de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



última generación (LLM) es invocado. Este LLM no solo procesa el texto del error, sino que también lo contextualiza para identificar el sistema, el componente afectado, la criticidad y la causa probable de la falla. Por ejemplo, un log crítico de *Node.js, como Error 500: Cannot read properties of null (reading 'path')*, es analizado por el agente para inferir que el error se encuentra en el código de una aplicación web, probablemente causado por una variable no inicializada.

- *Búsqueda de información (RAG):* el proceso de Generación Aumentada por Recuperación (RAG) es activado por el LLM. El agente realiza una búsqueda semántica en un repositorio de conocimiento interno (Knowbase) de la organización. De manera simultánea, consulta la documentación oficial de los fabricantes (Fortinet, Node.js, etc.) para encontrar soluciones relevantes. Esta fase es crítica para mitigar las "alucinaciones" del LLM y asegurar que la información utilizada sea precisa y esté actualizada. El repositorio de conocimiento se implementa con una base de datos vectorial que facilita las búsquedas de similitud semántica.

- *Síntesis y generación de la solución:* la información del log y los documentos relevantes obtenidos del RAG son utilizados por el LLM para sintetizar una solución concreta y unificada. Esta solución incluye un diagnóstico claro, los pasos exactos para la reparación y cualquier comando o configuración necesaria. La solución no es un simple enlace a un manual, sino un conjunto de instrucciones accionables en lenguaje natural.

- *Notificación y documentación automática:* una vez sintetizada la solución, el Agente MCP la notifica al responsable de sistemas o al administrador correspondiente a través de un servidor SMTP. De manera complementaria, el agente genera automáticamente un nuevo documento en la base de conocimiento interna con la descripción del incidente, la causa raíz identificada y la solución aplicada. Este proceso establece un ciclo de retroalimentación que fortalece continuamente la Knowbase de la organización.

**Caso de uso: detección y alerta automática de una incidencia en una aplicación web.**

Para ilustrar el funcionamiento del prototipo, se presenta un caso hipotético de una incidencia de Nivel 2 generada por un error en una aplicación web.

1. Detección del error: un usuario experimenta una falla en el sitio web de un sistema, registrada como un Error ‘500’. Este evento es capturado automáticamente por el sistema de monitoreo Loki–Grafana [23, 24], el cual genera una alerta que se envía al Agente MCP mediante un webhook [25].

2. Ingesta y análisis: el agente recibe el log a través de su módulo de ingesta, lo procesa con un modelo LLM (por ejemplo, Gemini), y lo clasifica como una incidencia de Nivel 2.

3. Consulta del conocimiento: el agente realiza una búsqueda semántica en la base de datos vectorial [26] alojada en Supabase [27] para verificar si el error ya fue documentado. Si encuentra un caso similar, obtiene la solución previa y la sintetiza; si no existe registro, el LLM genera una nueva solución basada en la documentación técnica oficial y la experiencia contextual.

4. Generación y documentación: la respuesta sintetizada incluye la causa raíz (por ejemplo, una variable no definida), los pasos de corrección y los comandos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



asociados. Luego, el agente actualiza automáticamente la base de conocimiento corporativa con este nuevo caso.

5. Notificación automática: finalmente, el sistema envía un correo al técnico responsable del área de desarrollo informando del error, la causa y la solución sugerida.

**Metodología**

Para el desarrollo y validación del Agente MCP, se propone una metodología de investigación-acción que combina la creación de un prototipo funcional con una evaluación de rendimiento comparativa [28]. Los siguientes puntos detallan los componentes clave de este enfoque metodológico.

- *Diseño Experimental:* se implementará un entorno de prueba simulado que replicará una infraestructura de TI con componentes comunes como un servidor web, una base de datos y un sistema de monitoreo. Se inyectarán fallas conocidas y controladas en este entorno. El rendimiento del Agente MCP en la resolución de estos incidentes se comparará con un proceso de soporte manual estándar.

- *Recolección de datos:* la base de datos de logs para el entrenamiento y la prueba consistirá en dos fuentes:

- Logs sintéticos: se generarán logs de error simulados de sistemas populares (e.g., Node.js, Fortinet, Prometheus) utilizando un generador de datos sintéticos.
- Bases de Conocimiento: se utilizará un conjunto de documentación de código abierto y manuales de usuario para construir el repositorio de conocimiento externo del agente. Se creará una base de conocimiento interna con un conjunto de "tickets de soporte" resueltos para la prueba.

- *Modelo de IA:* se utilizará un modelo de lenguaje de última generación (LLM) de acceso público (e.g., modelos de la familia Gemini o Llama) que se ejecute en un entorno de desarrollo. Para el RAG, se utilizará una base de datos vectorial como FAISS o ChromaDB para almacenar y recuperar los embeddings de los documentos.

- *Métricas de evaluación:* la métrica clave para evaluar el éxito del proyecto será el Mean Time to Repair (MTTR). Para la medición, se registrará el tiempo desde que se genera la alerta hasta que el agente envía la solución. Además, se utilizarán las siguientes métricas de rendimiento:

- Precisión de la solución: se medirá la exactitud de las soluciones generadas por el agente en una escala de 0 a 1, donde 1 representa una solución perfecta.
- Tiempo de Respuesta del Agente: se medirá el tiempo que tarda el agente en procesar el log y generar la solución.
- Tasa de Cobertura de la Knowbase: se medirá la cantidad de incidentes resueltos que se documentaron automáticamente en la base de conocimiento.

**Expectativas y Discusiones**

Esta sección presenta las proyecciones y expectativas del proyecto, dado que se encuentra en la etapa inicial de investigación. Los resultados aquí descritos son hipotéticos y representan los objetivos esperados de la implementación del Agente MCP.

Se proyecta que el Agente MCP logrará una reducción del MTTR de hasta un 30% para los incidentes de Nivel 1 en comparación con un proceso manual, lo que se traduciría en un tiempo de respuesta más ágil. Esta cifra está en línea con las proyecciones de la industria sobre el impacto de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



automatización en la gestión de incidentes [29]. La magnitud de esta reducción será validada experimentalmente, constituyendo uno de los principales resultados cuantitativos del estudio.

La precisión de la solución se proyecta como alta, lo que demostraría que el enfoque RAG es efectivo para mitigar las alucinaciones y generar soluciones accionables, aunque se anticipa que podría haber un margen de mejora en escenarios complejos.

En términos de productividad del personal técnico, la implementación del agente permitiría liberar una porción considerable de su tiempo que actualmente se dedica a la investigación de fallas comunes y a la documentación de resoluciones. Este tiempo liberado podría ser redirigido a la resolución de incidentes de mayor complejidad, a la optimización de la infraestructura o a proyectos estratégicos.

**Conclusión y trabajos futuros**

El presente trabajo de investigación propone el desarrollo de un agente autónomo para la gestión inteligente de incidentes de TI, con el potencial de reducir significativamente el MTTR y mejorar la productividad de los equipos de soporte. Se ha confirmado que la innovación no reside en la simple utilización de LLMs, sino en la arquitectura unificada y su enfoque integral del ciclo de vida del incidente, que eleva al agente de una herramienta de asistencia a un sistema resolutor proactivo.

Los hallazgos de la revisión de literatura sugieren que, al combinar la interpretación de logs con el RAG, el Agente MCP puede sintetizar soluciones con alta precisión y un tiempo de respuesta superior al de un proceso manual. La contribución fundamental de esta propuesta radica en el cierre de la brecha existente entre las herramientas de monitoreo y las plataformas ITSM, creando un flujo de trabajo continuo desde la detección hasta la documentación.

En resumen, se valida la visión propuesta en el resumen inicial: el Agente MCP no es solo un asistente, sino una solución integral y autónoma que utiliza tecnologías de vanguardia para transformar el ciclo de vida completo del incidente, desde la detección hasta la documentación, reduciendo el MTTR y mejorando la eficiencia operativa de los equipos de TI.

Para el futuro proyecto se explorarán varias vías para expandir y mejorar el Agente MCP, a saber:

- *Implementación de RAG de Grafo de Conocimiento (GRAG):* una mejora significativa sería la integración de un Grafo de Conocimiento que represente las interdependencias de la infraestructura de TI. Esto permitiría al agente no solo encontrar soluciones, sino también razonar sobre cómo un fallo en un componente afecta a otros, lo que aceleraría el análisis de la causa raíz.

- *Integración de la Planificación Prospectiva:* inspirado en el trabajo de Hammar [22], una mejora del agente podría ser la capacidad de generar y simular múltiples acciones de resolución. Esto le permitiría seleccionar el camino más óptimo para una recuperación rápida, lo que podría reducir aún más los tiempos de reparación.

- *Capacidades de Remediación Automática:* se podría explorar la posibilidad de que el agente no solo sintetice una solución, sino que también la ejecute de forma autónoma en un entorno controlado. En lugar de depender de interfaces tradicionales como SSH o APIs, la proliferación de MCP Server sugiere que el futuro podría orientarse hacia la interacción entre múltiples agentes que colaboren

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



entre sí, habilitando un flujo de acciones coordinadas y descentralizadas después de una aprobación previa.

**Referencias**

[1] FNT Software. "Mastering the Modern IT Infrastructure: Overcoming Key Management Challenges," FNT Software Blog, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fntsoftware.com/en/blog/mastering-the-modern-it-infrastructure-overcoming-key-management-challenges.

[2] E. and Y. (EY), "How do you create value by actively managing IT complexity?," 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ey.com/en/ch/insights/consulting/how-do-you-create-value-by-actively-managing-it-complexity.

[3] S. G. P. W. Staff, "Rethinking ITSM: Why 2025 Demands a Shift to Intelligent Enterprise Service Management," IFS Blog, [En línea]. Disponible en: https://blog.ifs.com/rethinking-itsm-why-2025-demands-a-shift-to-intelligent-enterprise-service-management

[4] A. S. Ahmed, "Transforming IT operations: harnessing natural language processing and transformers in $AIOps,$" PhD dissertation, Ulster University, 2024. [En línea]. Disponible en: https://pure.ulster.ac.uk/files/221499944/Transforming IT operations harnessing natural language processing and transformers in AIOps.pdf.

[5] S. K. A. M. B. J. T. T. T. A. T. T., "AIOps Solutions for Incident Management: Technical Guidelines and A Comprehensive Literature Review," arXiv, 2024. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/html/2404.01363v1.

[6] Mordor Intelligence, "AI in IT Operations (AIOps) Market Size & Share Analysis Growth Trends & Forecasts (20242029)." [En línea]. Disponible en: https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/aiops-market.

[7] Global Market Insights, Inc., "Artificial Intelligence in IT Operations (AIOps) Market Size By Component, Deployment, End-User, Regional Outlook, Application Potential, Competitive Market Share & Forecast, 20232032," Globe Newswire, [En línea]. Disponible en: https://www.globenewswire.com/news-release/2023/01/24/2593849/0/en/AIOps-Market-to-exceed-38-Bn-by-2032-Says-Global-Market-Insights-Inc.html.

[8] IBM Corporation, "Al for IT Operations." [En línea]. Disponible en: https://www.ibm.com/artificial-intelligence.

[9] Splunk Inc., "AIOps and IT Operations." [En línea]. Disponible en: https://www.splunk.com/.

[10] Atlassian, "Jira Service Management." [En línea]. Disponible en: https://www.atlassian.com/software/jira/service-management.

[11] Zendesk, "Zendesk AL." [En línea]. Disponible en: https://www.zendesk.com.mx/service/ai/

[12] ServiceNow, "ServiceNow Now Platform." [En línea]. Disponible en: https://www.servicenow.com/latam/now-platform.html.

[13] Freshworks Inc., "Freshservice." [En línea]. Disponible en: https://www.freshworks.com/latam/freshservice/.

[14] ScienceLogic, "Why Next-Generation AIOps is a Game Changer for Managing IT Complexity," ScienceLogic Blog, 2024. [En línea]. Disponible en: https://sciencelogic.com/blog/why-next-generation-aiops-is-a-game-changer-for-managing-it-complexity

[15] Atlassian, "ITSM Automation." [En línea]. Disponible en: https://www.atlassian.com/software/jira/service-management/product-guide/tips-and-tricks/automation.

[16] P. Lewis et al., "Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks," en Advances in Neural Information Processing Systems, 2020. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2005.11401.

[17] Y. Gao, Y. Xiong, D. Kuang, Y. Ma, S. Zheng, Z. He, F. Zhang, P. Wang, J. Wang, y H. Wang, "Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey", arXiv preprint arXiv:2312.10997, 2023. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2312.10997.

[18] Neo4j, "What Is a Knowledge Graph?" [En línea]. Disponible en: https://neo4j.com/blog/knowledge-graph/what-is-knowledge-graph/.

[19] AWS, "What is a knowledge graph?" [En línea]. Disponible en: https://aws.amazon.com/neptune/knowledge-graphs-on-aws/.

[20] Google Cloud, "Knowledge Graph: Powering intelligent and context-aware search" [En línea].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Disponible en: https://cloud.google.com/agentspace/docs/use-knowledge-graph-search.

[21] H. L. et al., "Adapting Network Information into Semantics for Generalizable and Plug-and-Play Multi-Scenario Network Diagnosis," arXiv, 2025. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/html/2501.16842v2.

[22] K. Hammar, T. Alpcan, and E. C. Lupu, "Incident Response Planning Using a Lightweight Large Language Model with Reduced Hallucination," [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/pdf/2508.05188.

[23] Grafana Labs, "Loki: Like Prometheus, but for logs," Grafana Documentation, 2024. [En línea]. Disponible en: https://grafana.com/docs/loki/latest/

[24] Grafana Labs, "Alerting in Grafana: Unified alerting for logs, metrics, and traces," Grafana Blog, 2024. [En línea]. Disponible en: https://grafana.com/docs/grafana/latest/alerting/

[25] Red Hat, "¿Qué es un webhook?," Red Hat Topics: Automation, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.redhat.com/es/topics/automation/what-is-a-webhook

[26] Google Cloud, "¿Qué es una base de datos vectorial?," Google Cloud Discover, 2024. [En línea]. Disponible en: https://cloud.google.com/discover/what-is-a-vector-database?hl=es

[27] Supabase Inc., "AI & Vectors" Supabase Documentation, 2025. [En línea]. Disponible en: https://supabase.com/docs/guides/ai

[28] R. McTaggart, "Participatory Action Research," en Handbook of Qualitative Research, 2a ed., N. K. Denzin y Y. S. Lincoln, Eds. Londres, Reino Unido: SAGE Publications, 2000, págs. 589-620.

[29] Proactivanet, "Artificial Intelligence in ITSM: The future of technical support is already here," Proactivanet Blog, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.proactivanet.com/en/blog/it-service-management-en-2/artificial-intelligence-in-itsm-the-future-of-technical-support-is-already-here/.

[30] Atlassian, "A Leader in the 2022 Gartner Magic Quadrant for ITSM platforms," Atlassian Blog, [En línea]. Disponible en: https://www.atlassian.com/blog/it-service-management/2022-gartner-mq-itsm-atlassian.

**Datos de contacto:**
*Joaquin Manuel Suarez, Universidad de la Cuenca del Plata - Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura. gnoattosuarezjoaquin@gmail.com.*
*Carlos Andres Briend, Universidad de la Cuenca del Plata - Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura. andresbriend@gmail.com.*
*Dirección postal: 3400*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Guitapp
# Sistema de Gestión de Finanzas

**Autores**

Tomás Colombo, Joaquín Prato, Gonzalo Pozzoli, Facundo Sampieri, Nicolás Carcaño

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza,
Carrera: Ingeniería en Sistemas de Información

E-mail: guitapp.team@gmail.com

**Resumen**

El propósito de este artículo es presentar el proyecto final de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, que aborda los desafíos que enfrentan los usuarios al intentar mantener una visión clara y centralizada de su situación financiera en un panorama cada vez más diversificado de servicios financieros digitales. Este trabajo se centra en el desarrollo de una aplicación diseñada para unificar la visualización de múltiples billeteras virtuales dentro de un único entorno organizado. El proyecto abarca todas las etapas del ciclo de vida del desarrollo de software, desde el relevamiento de requisitos hasta la implementación de una solución funcional. Se emplearon metodologías ágiles, técnicas de diseño centradas en el usuario y herramientas tecnológicas modernas para construir un sistema intuitivo, escalable y adaptable a diferentes perfiles de usuarios. La solución busca facilitar el acceso a la información financiera distribuida, promover la toma de decisiones informadas y fomentar hábitos de planificación personal. Como resultado, esta propuesta no solo responde a una necesidad concreta en el contexto actual, sino que también sienta las bases para futuras mejoras con capacidades analíticas avanzadas y una experiencia de usuario optimizada.

**Abstract**

*The purpose of this article is to present the final project of the Information Systems Engineering degree, which addresses the challenges users face in maintaining a clear and centralized view of their financial situation in an increasingly diversified landscape of digital financial services. This work focuses on the development of an application designed to unify the visualization of multiple virtual wallets within a single organized environment. The project encompasses all stages of the software development life cycle, from requirements gathering to the implementation of a functional solution. Agile methodologies, user-centered design techniques, and modern technological tools were employed to build an intuitive, scalable, and adaptable system for different user profiles. The solution aims to facilitate access to distributed financial information, promote informed decision-making, and encourage personal planning habits. As a result, this proposal not only addresses a concrete need in the current context but also lays the groundwork for future enhancements with advanced analytical capabilities and an optimized user experience.*

**Palabras Clave**
Aplicación financiera, gestión de ahorros, gestión de gastos, reportes inteligentes, notificaciones personalizadas.

## Introducción

En la actualidad, la proliferación de bancos digitales y billeteras virtuales ha generado una fragmentación significativa en la forma en que las personas gestionan su economía personal. En Argentina, más del 80 % de la población utiliza billeteras virtuales, y lo más llamativo es que el 65,5 % de quienes no poseen cuenta bancaria acceden a servicios financieros únicamente a través de ellas, mientras que el 85,2 % de los bancarizados también las utilizan activamente [1]. Este crecimiento ha sido vertiginoso: en 2019 menos del 5 % de los adultos usaba cuentas fintech, mientras que en 2023 la cifra superó el 61 %, lo que representa un aumento cercano al 1100 % en solo cuatro años [2].

Esta situación, lejos de facilitar el control financiero, ha introducido nuevos desafíos: balances dispersos, dificultades para llevar un seguimiento claro de ingresos y egresos, desorganización en los gastos compartidos y falta de herramientas que ayuden a entender el comportamiento económico personal de manera integral. De hecho, un estudio reciente sugiere que una parte significativa de los usuarios enfrenta dificultades para organizar sus gastos al

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



manejar múltiples plataformas financieras [3].

En este contexto, surge la necesidad de contar con soluciones que centralicen la información y promuevan hábitos financieros saludables. El presente trabajo aborda esta problemática mediante el desarrollo de GuitApp, una aplicación web y móvil diseñada para unificar la visualización y organización de la información financiera distribuida en múltiples cuentas virtuales. La solución propone una experiencia digital centrada en el usuario, que no solo permite registrar y visualizar movimientos de forma detallada, sino también administrar metas de ahorro, llevar control de gastos colaborativos y acceder a reportes claros que ayuden a la toma de decisiones informadas. Estas funcionalidades apuntan a mejorar la relación cotidiana del usuario con su economía, brindándole una herramienta accesible, motivadora y eficiente.

Desde el punto de vista académico, este proyecto representa una aplicación práctica de conceptos clave en ingeniería de sistemas de información, incluyendo el diseño modular, el enfoque centrado en el usuario, la interoperabilidad entre servicios y el uso de metodologías ágiles. Su utilidad no se limita al ámbito individual: GuitApp resulta aplicable en diversos contextos, como grupos de convivencia, viajes o eventos compartidos.

**Investigación preliminar (Trabajos relacionados)**

Como parte del análisis preliminar, se realizó un relevamiento de aplicaciones existentes en el ámbito de la gestión financiera personal, con el objetivo de identificar necesidades no resueltas y limitaciones comunes. Las aplicaciones analizadas fueron Tricount [22], Monefy [23], Wallet App [24] y Spendee [25].

De manera general, se observó que estas plataformas ofrecen funcionalidades valiosas como el registro de gastos, visualización de estadísticas o gestión compartida, pero presentan dos problemáticas principales. Por un lado, ninguna de ellas brinda un período de prueba gratuito completo, lo que impide a los usuarios explorar en profundidad sus características antes de decidir si se adaptan a sus necesidades reales. Por otro lado, la mayoría de estas aplicaciones ofrecen funcionalidades de manera fragmentada, es decir, cada una aborda solo ciertos aspectos de la gestión financiera, obligando al usuario a utilizar múltiples apps para cubrir sus necesidades.

GuitApp surge como respuesta a estas limitaciones, ofreciendo un enfoque unificado e integrado que incluye múltiples funcionalidades clave, como ahorro por objetivos, reportes inteligentes, notificaciones y administración de monedas en una sola plataforma. Además, su modelo freemium permite a los usuarios acceder a las funciones principales sin restricciones iniciales, facilitando una evaluación libre y completa del sistema desde el primer uso.

**Metodología de desarrollo**

El desarrollo del presente proyecto se estructuró en base a un enfoque combinado, integrando elementos de metodologías tradicionales y ágiles con el objetivo de lograr un proceso ordenado, pero a la vez flexible y adaptado a las necesidades reales del equipo. El trabajo se organizó en seis fases consecutivas: planificación, análisis, diseño, desarrollo, pruebas e implementación, cada una con objetivos y actividades específicas.

Durante la etapa de planificación, se evaluó la viabilidad del proyecto a partir del análisis del contexto tecnológico y financiero actual, identificando las oportunidades y desafíos que implicaba el desarrollo de una solución orientada a la centralización de información proveniente de diversas billeteras virtuales. Se llevó a cabo un relevamiento del mercado, incluyendo la revisión de aplicaciones similares, lo cual permitió definir con mayor precisión los objetivos funcionales y el público objetivo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En la fase de análisis, se profundizó en la identificación de requerimientos funcionales y no funcionales, a partir de los cuales se establecieron las funcionalidades clave que darían forma a la propuesta. La etapa de diseño incluyó la elaboración de diagramas de clases y casos de uso y estructuras de interfaz, buscando garantizar una experiencia de usuario coherente y eficiente.

A partir de la etapa de desarrollo, se adoptó una dinámica de trabajo basada en principios de la metodología ágil SCRUM. Se organizaron sprints de duración variable de entre dos y tres semanas, en los cuales las tareas fueron divididas en user stories priorizadas. Estas fueron gestionadas a través de la herramienta Trello [4] y Discord [5], lo que facilitó el seguimiento del avance y la colaboración entre los integrantes. Se mantuvieron reuniones breves periódicas, orientadas a resolver bloqueos, ajustar prioridades y asegurar una evolución constante del sistema. Además, el equipo se estructuró bajo los roles definidos por el framework SCRUM. Se designó un Product Owner responsable de priorizar los requerimientos y mantener la visión del producto, un Scrum Master encargado de facilitar las ceremonias y eliminar impedimentos, y un grupo de desarrolladores que abordó las tareas técnicas de cada sprint.
Finalmente, tras alcanzar un producto funcional que cumplía con los objetivos definidos, se procedió a la fase de implementación, que incluyó la preparación del entorno productivo y la puesta en marcha del sistema.

**Módulos que Componen al Sistema**

**Módulo de Usuario**
Este módulo constituye el punto de entrada a GuitApp y es responsable de gestionar la identidad de cada usuario, su autenticación y la administración de sus datos personales. Entre sus funciones más relevantes se encuentran el registro de nuevos usuarios, el inicio de sesión mediante correo electrónico y contraseña, la recuperación y modificación de credenciales, y la edición del perfil personal. Además, se permite la gestión de sesión, garantizando la privacidad en dispositivos compartidos. Como parte del proceso de incorporación, se asigna automáticamente una cuenta financiera inicial denominada “Efectivo”, la cual se configura solicitando el saldo actual. Este módulo asegura un entorno seguro, personalizado y listo para utilizar desde el primer acceso.

**Módulo de Movimientos**
Es el núcleo funcional de la aplicación y permite al usuario llevar un control estructurado de sus finanzas personales. Facilita el registro de ingresos, egresos y transferencias entre cuentas propias, así como la programación de movimientos futuros, ya sean únicos o recurrentes. También se habilita la gestión de cuentas financieras, permitiendo crear, editar o dar de baja cuentas según necesidad. Otra funcionalidad clave es la clasificación de movimientos mediante categorías personalizables, asociadas a colores e íconos para facilitar la interpretación visual. Este módulo alimenta otras funcionalidades de la aplicación, como los reportes analíticos y las visualizaciones, funcionando como base informativa para el análisis financiero, tal como puede observarse en la *Figura 1, “Pantalla de Historial de Movimientos”*.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



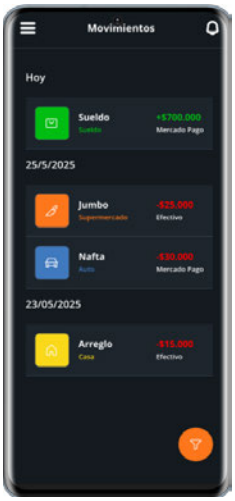



*Figura 1: Pantalla Historial de Movimientos*




*Figura 2: Pantalla Visualización Grupo*

**Módulo de Grupos de Gasto**

Este módulo está orientado a la gestión colaborativa de gastos en contextos compartidos, como convivencias, viajes o eventos. Permite la creación de grupos personalizados, la invitación de participantes y el registro de gastos compartidos, definiendo los montos, los participantes involucrados y el modo de división. Además, presenta una visualización clara de los saldos entre integrantes, indicando quién debe a quién y en qué cantidad. Los usuarios pueden modificar o eliminar gastos y marcar deudas como saldadas, manteniendo la información actualizada y transparente. Este módulo fomenta la organización y claridad en el manejo de fondos colectivos, reduciendo la posibilidad de malentendidos entre los participantes, como se muestra en la *Figura 2, "Pantalla de Visualización de Grupo"*.

**Módulo de Ahorros**

Permite a los usuarios crear y gestionar objetivos de ahorro personalizados, fortaleciendo sus hábitos de planificación financiera a mediano y largo plazo. Cada objetivo puede tener nombre, descripción, monto meta y fecha límite. Los usuarios pueden registrar depósitos o retiros y, como se aprecia en la *Figura 3, "Pantalla de Ahorros"*, visualizar el progreso mediante barras de avance, porcentaje alcanzado e historial de movimientos. De esta manera, el módulo se convierte en un incentivo para una organización financiera más proactiva y orientada a metas concretas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



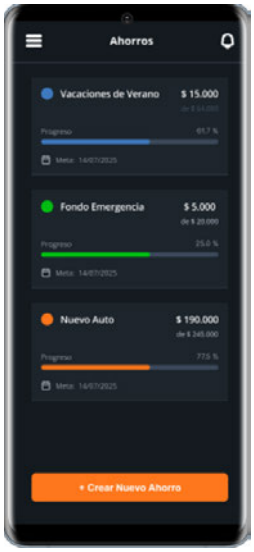



*Figura 3: Pantalla Ahorros*

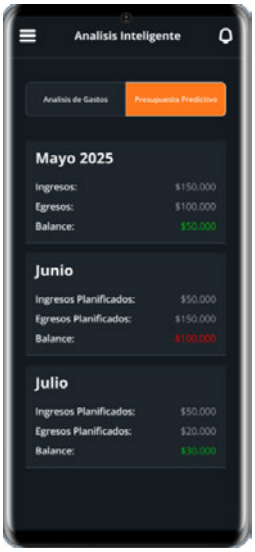



*Figura 4: Pantalla de Presupuesto Predictivo*

**Módulo de Reportes e Inteligencia**

Combina reportes visuales con herramientas de análisis financiero para transformar datos en conocimiento útil. Permite al usuario consultar sus ingresos, egresos y saldos en distintos períodos mediante gráficos comparativos, tortas por categoría y evolución temporal. *La Figura 4, "Pantalla de Presupuesto Predictivo"*, muestra cómo estas proyecciones ayudan a anticipar escenarios y organizar el presupuesto, mientras que la *Figura 5, "Pantalla de Estadísticas por Categoría"*, presenta un desglose detallado de los gastos e ingresos clasificados, facilitando la detección de patrones y comportamientos financieros. Además, el módulo incorpora análisis inteligente, como la identificación de gastos recurrentes y proyecciones presupuestarias futuras, brindando al usuario una base sólida para la toma de decisiones informadas.




*Figura 5: Pantalla Estadísticas por categoría*

**Módulo de Notificaciones**

Se encarga de mantener al usuario informado sobre eventos relevantes dentro de la aplicación mediante alertas automáticas y contextuales. Presenta un listado cronológico de notificaciones con íconos, títulos breves y resúmenes. Al acceder a cada notificación, se despliega información detallada y accesos directos a funciones relacionadas. Incluye recordatorios de movimientos planificados,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



actualizaciones de gastos compartidos y deudas saldadas, promoviendo una experiencia personalizada y en tiempo real.

**Módulo de Administración**

Está destinado exclusivamente a usuarios con rol de administrador y permite gestionar aspectos estructurales y estratégicos de la aplicación. Brinda herramientas para configurar categorías predefinidas, gestionar usuarios y roles, administrar monedas aceptadas y monitorear el uso global del sistema. Incluye funciones de alta, baja y modificación de entidades clave, así como estadísticas de uso que facilitan la toma de decisiones orientadas a la mejora continua de la plataforma. Este módulo garantiza el correcto funcionamiento, coherencia y evolución del sistema. El sistema contempla la posibilidad de trabajar con diferentes monedas, gestionando sus equivalencias a través de tasas de cambio actualizadas dinámicamente desde fuentes externas. Esto permite mantener la coherencia de los cálculos financieros y facilitar la conversión automática en los reportes y movimientos registrados.

**Modelo de Datos**

Para el diseño del modelo de datos de GuitApp, se optó por la utilización de un diagrama de clases de entidad, que representa las entidades principales del sistema, sus atributos relevantes y las relaciones entre ellas. Dado que la aplicación contempla múltiples módulos y una estructura amplia de datos, en este trabajo se presenta una versión simplificada del modelo, enfocada en las entidades involucradas en la gestión de ahorros, reportes y notificaciones. *La Figura 6, "Modelo de Datos reducido"*, ilustra esta representación simplificada, en la cual se han omitido atributos secundarios con el objetivo de facilitar la comprensión general del modelo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



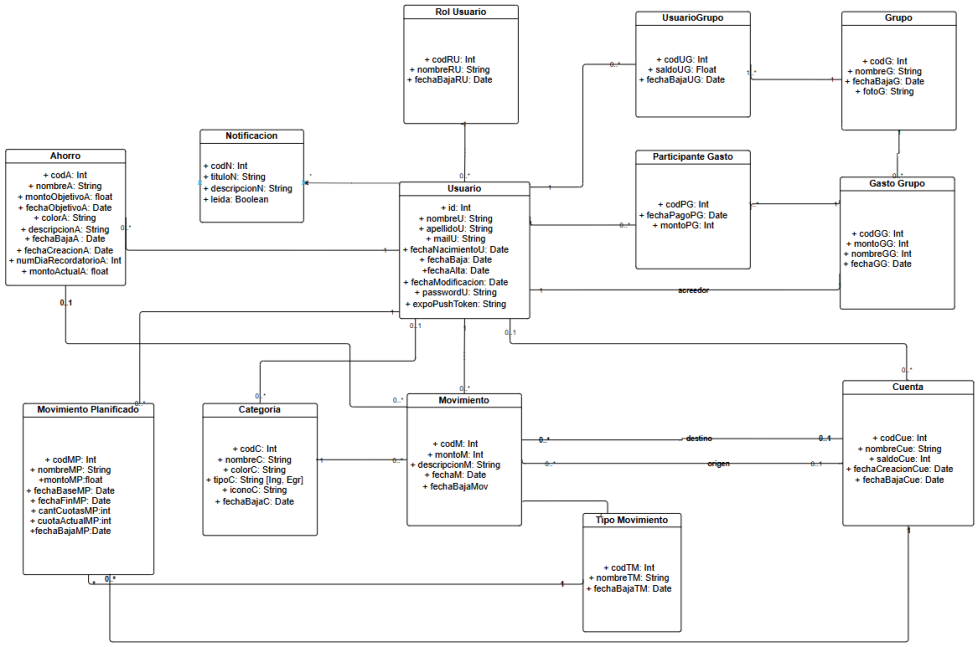



*Figura 6: Modelo de Datos reducido*

**Diagrama de arquitectura**

En la siguiente imagen podemos ver los componentes del diagrama de arquitectura

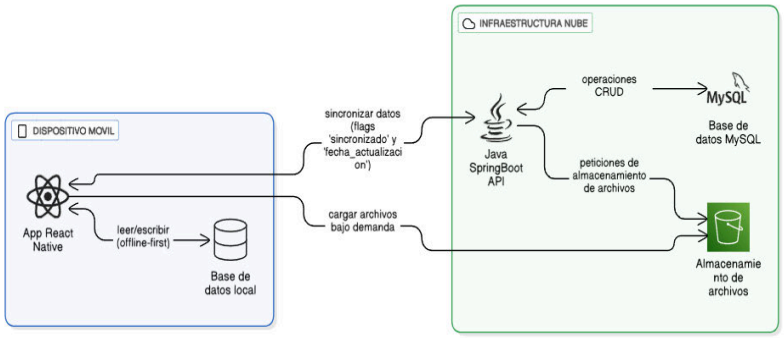



*Figura 7: Diagrama de arquitectura*

**Metodología y Tecnologías Utilizadas**

Para el desarrollo del proyecto GuitApp, se adoptó la metodología ágil Scrum, orientada a la entrega continua e incremental de funcionalidades a través de ciclos iterativos denominados sprints, de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



dos semanas de duración. Esta metodología permitió mantener una comunicación constante y fluida dentro del equipo, fomentando la colaboración y adaptación al cambio.
Durante cada sprint, se realizaron las ceremonias correspondientes (daily, planning, review y retrospective), utilizando canales formales e informales de comunicación para asegurar un seguimiento adecuado del progreso del proyecto.

Las tecnologías empleadas para el desarrollo fueron las siguientes:
Backend
Java [6] fue utilizado como lenguaje principal para la lógica del servidor, junto con Spring Boot [7] como framework para construir la API REST de forma eficiente. JWT [8] se implementó como mecanismo de autenticación y autorización, mientras que MySQL [9] fue elegido como sistema de gestión de bases de datos. La documentación de la API se realizó mediante Swagger [10].

**Aplicación móvil**
Para la app móvil se empleó React Native [11] (utilizando el entorno Expo), lo que permitió un desarrollo multiplataforma eficiente. TypeScript [12] se utilizó en la lógica del frontend, y SQLite [13] fue implementado como base de datos local, asegurando funcionalidad offline en los dispositivos.

**Herramientas utilizadas a lo largo del proyecto**
Se emplearon diversas herramientas para el modelado, el diseño, la documentación y la planificación. Entre ellas, Enterprise Architect [14] y Diagrams.net [15] para los diagramas, Figma [16] para el diseño de interfaces, Google Drive [17] como espacio de almacenamiento colaborativo, y ProjectLibre [18] para la planificación del proyecto. El control de versiones se gestionó mediante Git [19] y GitHub [20]. Para la comunicación del equipo, se utilizaron WhatsApp [21] como canal informal y Discord como espacio formal para la coordinación y realización de las ceremonias Scrum.

Esta combinación de metodologías, tecnologías y herramientas permitió lograr un desarrollo ágil, colaborativo y bien estructurado, adaptado a las necesidades específicas de la aplicación.

## Conclusión y Trabajos Futuros

El desarrollo de GuitApp representa un aporte significativo en el ámbito de las aplicaciones de gestión financiera personal, al integrar en una sola plataforma funcionalidades que en la mayoría de los sistemas existentes se encuentran distribuidas en aplicaciones separadas. La incorporación de módulos como el ahorro por objetivos, reportes inteligentes, notificaciones automatizadas y administración de monedas, en conjunto con una interfaz accesible y un modelo freemium, permite brindar una experiencia completa, flexible y centrada en el usuario.

Una de las principales limitaciones del sistema actual radica en la falta de integración con servicios bancarios. En Argentina, la mayoría de los bancos no proveen APIs públicas o estandarizadas para acceder a información de cuentas, movimientos o saldos. Esta restricción obliga a los usuarios a registrar manualmente sus movimientos, lo cual puede afectar la precisión y la frecuencia de uso de la aplicación. Como línea de trabajo futura, se plantea la posibilidad de desarrollar mecanismos de importación semiautomática o estandarización de datos bancarios en caso de que el ecosistema financiero evolucione hacia una mayor apertura de datos.

Además de los logros funcionales, el proyecto permitió aplicar con éxito un conjunto sólido de tecnologías y prácticas de ingeniería. Se desarrolló un sistema híbrido con aplicación web y móvil, utilizando Java y Spring Boot en el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



backend, React Native para la aplicación móvil y MySQL como motor de base de datos. La autenticación se resolvió mediante JWT, y se documentó la API con Swagger, asegurando escalabilidad y seguridad. El trabajo colaborativo se apoyó en entornos y herramientas como GitHub, Trello, Discord y Google Drive, mientras que el diseño de interfaces se realizó con Figma y los modelos con Enterprise Architect y Diagrams.net. La gestión del proyecto se llevó a cabo siguiendo la metodología Scrum, con sprints iterativos y retrospectivas que permitieron mejorar la calidad en cada entrega.

En conclusión, GuitApp se posiciona como una herramienta prometedora en el campo de la gestión financiera personal, con una propuesta sólida, integral y adaptable. La experiencia adquirida en el uso de tecnologías modernas, metodologías ágiles y herramientas de gestión refuerza el valor académico y profesional del proyecto, y sienta bases firmes para su evolución hacia nuevas funcionalidades y mejoras técnicas en el futuro.

**Referencias bibliográficas**

[1] 8 de cada 10 argentinos utilizan billeteras virtuales: los riesgos de su uso y consejos de seguridad. (2024, 14 marzo). TN Tecno. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://tn.com.ar/tecno/novedades/2024/03/14/8-de-cada-10-argentinos-utilizan-billeteras-virtuales-los-riesgos-de-su-uso-y-consejos-de-seguridad

[2] Estudio de Billeteras Virtuales 2023. (s. f.). Cámara Argentina Fintech. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://camarafintech.org/estudio-de-billeteras-virtuales-2023

[3] Argentina lidera Latinoamérica en el creciente uso de las billeteras digitales. (2024, 24 julio). Infobae. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://www.infobae.com/america/agencias/2024/07/24/argentina-lidera-latinoamerica-en-el-creciente-uso-de-las-billeteras-digitales

[4] Trello. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://trello.com/es

[5] Discord. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://discord.com

[6] What is Java technology and why do I need it? (s. f.). Java. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://www.java.com/es/

[7] Spring Boot. (s. f.). Spring. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://spring.io/projects/spring-boot

[8] JWT.IO. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://jwt.io/

[9] MySQL. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://www.mysql.com/

[10] Swagger. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://swagger.io/

[11] React Native. (s. f.). Meta. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://reactnative.dev/

[12] TypeScript: JavaScript With Syntax For Types. (s. f.). Microsoft. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://www.typescriptlang.org/

[13] SQLite. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://sqlite.org/

[14] Enterprise Architect. (s. f.). Sparx Systems. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://sparxsystems.com/products/ea/trial/request.html

[15] diagrams.net. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://app.diagrams.net/

[16] Figma: The Collaborative Interface Design Tool. (s. f.). Figma. Recuperado el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



26 de agosto de 2025, de https://www.figma.com/

[17] Google Drive. (s. f.). Google. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://drive.google.com/drive/quota

[18] ProjectLibre. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://www.projectlibre.com/

[19] Git. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://git-scm.com/

[20] GitHub: Let's build from here. (s. f.). GitHub. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://github.com/

[21] WhatsApp. (s. f.). Meta. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://web.whatsapp.com/

[22] Tricount. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://tricount.com/es-es/

[23] Monefy. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://www.monefy.com/

[24] Wallet App. (s. f.). BudgetBakers. Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://web.budgetbakers.com/login

[25] Spendee. (s. f.). Recuperado el 26 de agosto de 2025, de https://www.spendee.com/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# TurisGO

## *Sistema de gestión para agencias de turismo*

**Resumen**

*En el presente artículo se expone el proyecto desarrollado como Proyecto Final de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, consistente en "TurisGO", una plataforma diseñada para la gestión de agencias de turismo.*

*El principal objetivo es ofrecer a las agencias una herramienta integral para gestionar eficientemente sus procesos operativos clave —como la administración de reservas y actividades— y promover la colaboración entre agencias locales para optimizar el uso de sus recursos.*

*El desarrollo se basó en tecnologías modernas, implementando una aplicación web multiplataforma accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet. La arquitectura del sistema utilizó React [7] con TypeScript [6] para el frontend, proporcionando una interfaz de usuario moderna y mantenible, mientras que el backend fue desarrollado en Java [8] con Spring Boot [9], garantizando una API REST robusta y escalable conectada a una base de datos MySQL [10].*

*A lo largo del ciclo de vida del proyecto se emplearon herramientas especializadas: Google Drive [1] para documentación colaborativa, ProjectLibre [2] para planificación de tareas, ClickUp [3] para coordinación del equipo, Enterprise Architect [4] para modelado del sistema y Figma [5] para creación de prototipos de interfaces. El proceso de desarrollo se apoyó en Visual Studio Code [15] como entorno integrado, Git [13] y GitHub [14] para control de versiones que permitieron trabajo colaborativo eficiente, complementado con Postman [11] para testing de APIs y JMeter [12] para pruebas de rendimiento.*

**Palabras clave**

Reservas online, compensación de pasajeros, sistema integral, agencias de turismo, optimización operativa.

## Introducción

La idea del desarrollo de esta plataforma surge a partir de los problemas que se observaron durante el relevamiento de varias agencias de turismo locales e investigaciones realizadas en el sector turístico.

Uno de estos problemas es la falta de un sistema que integre los principales procesos de una agencia de turismo, lo cual provoca la ineficiencia en el uso de sus recursos, dando como resultado una disminución en la calidad del servicio ofrecido, demoras en la coordinación de actividades y pérdida de oportunidades de negocio.

Esta situación se ve agravada por la ausencia de herramientas tecnológicas que permitan una comunicación fluida entre agencias, quienes diariamente se enfrentan al dilema de cancelar excursiones con pocos pasajeros o realizarlas asumiendo pérdidas económicas, mientras otras agencias salen con lugares vacíos en las mismas fechas y destinos. Ambas podrían beneficiarse transfiriendo pasajeros y compartiendo los ingresos: la agencia que transfiere evita pérdidas y recibe una compensación económica, mientras la receptora llena asientos vacíos maximizando la ocupación de sus vehículos. A continuación, en la Figura 1 pueden observarse 3 casos que una agencia puede presentar a la hora de armar una salida a una actividad

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






*Figura 1: Casos problemáticos de una salida a una actividad*

En este contexto, se propone "TurisGO" como una solución tecnológica para abordar estos desafíos, mediante la implementación de un sistema digital que permita, entre otras cosas:
-Gestionar los procesos clave de las agencias.

-Colaborar con otras agencias en el traslado de pasajeros.
-Obtener una visión estratégica del funcionamiento de la agencia.

**Materiales y mètodos**

Durante la etapa de diseño, se utilizó un enfoque iterativo e incremental, el cual incluyó diversas actividades, como la definición de los objetivos y alcances finales del sistema, la creación de un modelo funcional, el diseño de interfaces gráficas, la generación de reportes y el desarrollo del modelo de datos. La aplicación se dividió en módulos funcionales para segmentar y organizar la programación del sistema de manera más eficiente.

A continuación, se describen estos elementos con mayor detalle:

***Módulo de Reservas***
En este módulo se registran las reservas que realizan los clientes para las distintas actividades disponibles. El administrador puede ver el estado de las mismas, consultar información de ellas y crear nuevas reservas manualmente, como puede observarse en la Figura

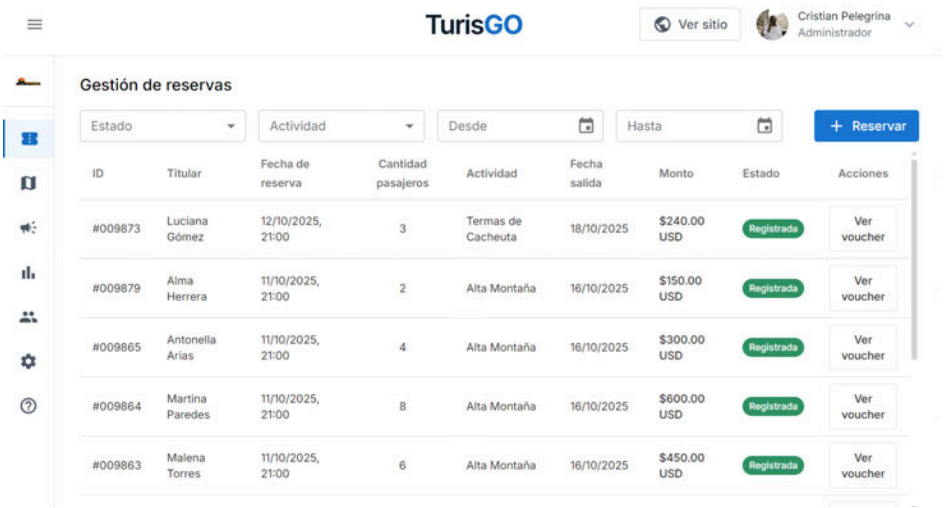



*Figura 2: Pantalla de gestión de reserva*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Módulo de Actividades***

En este módulo, se gestionan las actividades que ofrece la agencia. El administrador, puede crear, modificar y eliminar las actividades según crea conveniente, gestionar las salidas de la agencia (crear, modificar y cancelar salidas) y configurar los tipos de actividades que la agencia brinda. Cada actividad tendrá definida información clave de la misma (como el precio, detalles de la actividad, y demás información que el administrador crea conveniente dar a conocer).

Los clientes, al acceder a la página de TurisGO de la agencia, podrán visualizar las actividades disponibles según sus preferencias (ya sea precio, tipo de actividad, idioma, duración, etc.), y así, obtener un servicio acorde a sus expectativas, tal como se muestra en la Figura 3. Por su parte, el administrador cuenta con herramientas completas para la gestión de estas actividades, como se presenta en la Figura 4.

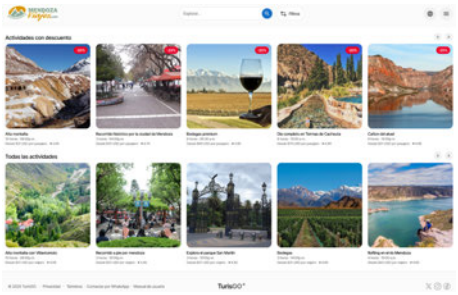


*Figura 3: Pantalla principal de actividades (vista pasajero)*

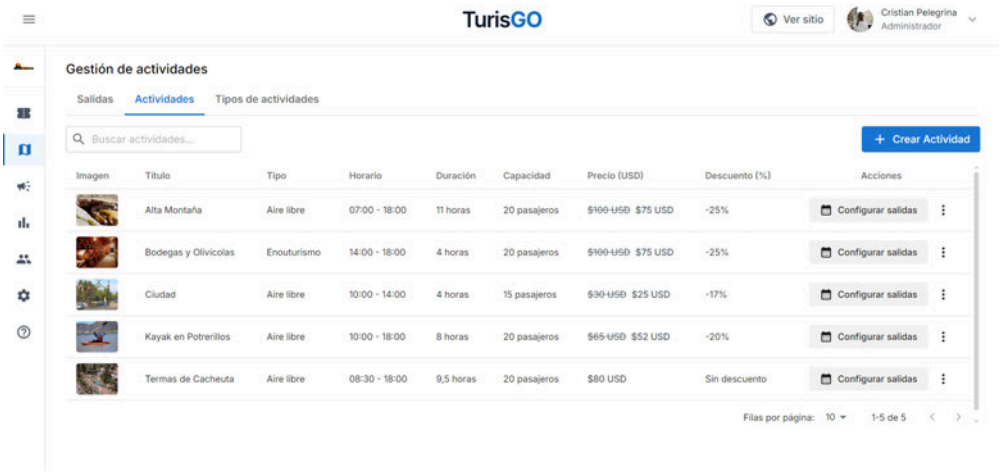



*Figura 4: Pantalla de gestión actividades (vista administrador)*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Módulo de Compensación***

Las agencias que implementen este sistema, tendrán acceso al sistema de colaboración entre agencias de TurisGO. En este contexto, agencias de distintos lugares podrán conectarse para coordinar el traslado de pasajeros en una operación que nosotros llamamos “compensación”.

Gracias a la implementación de este módulo, cada agencia podrá publicar una oferta o demanda de pasajeros, la cual será solicitada por otra agencia, creando así, un sistema de colaboración entre agencias que permite a las mismas obtener una maximización de sus recursos, aumentando así su rentabilidad y reduciendo notablemente la huella de carbono emitida por las mismas. La interfaz de este sistema se puede apreciar en la Figura 5.

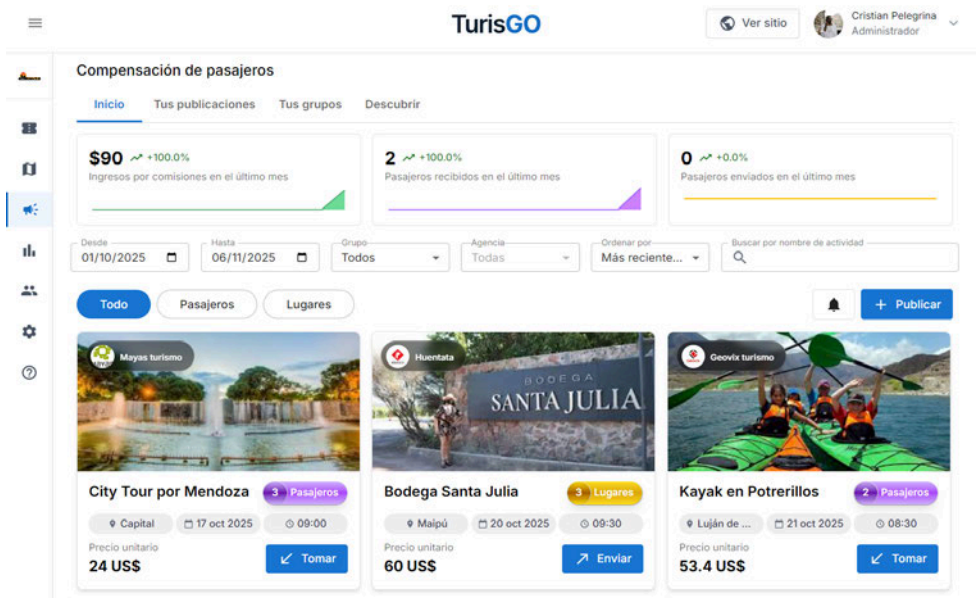



*Figura 5: Pantalla del feed de compensación*

***Módulo de Reportes y Gráficos***

Todos los datos recopilados de las reservas que registra la agencia, pueden ser visualizados por el administrador de una manera estratégica en este módulo.

En este apartado, se podrán ver gráficos tanto respecto a las actividades de la agencia como a las variables financieras de la misma, brindándoles así, información clave para la toma de decisiones. Además, se incluye en este módulo el apartado de reportes, donde se verán las compensaciones realizadas y sus respectivos datos (agencia participe, actividad, pasajeros, monto a pagar/recibir, etc.), como se ilustra en la Figura 6.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



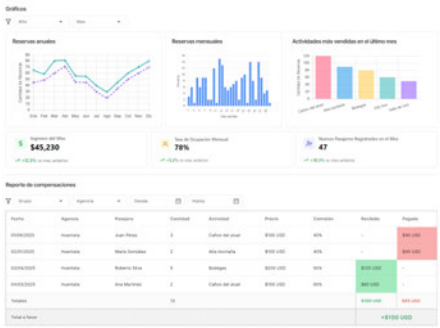


*Figura 6: Pantalla de reportes y gráficos*

***Módulo de Configuración***

El administrador podrá configurar, entre otras cosas, datos clave de la agencia, sus políticas de cancelación, los puntos de inicio y de finalización de las actividades y los descuentos por rangos de edades, tal como se muestra en la Figura 7.

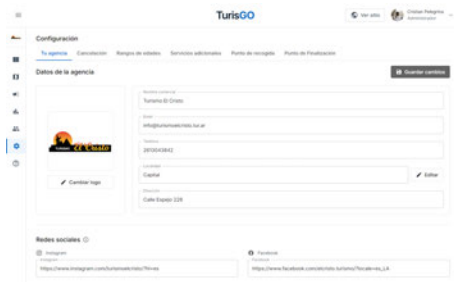



*Figura 7: Pantalla de configuración de datos de la agencia*

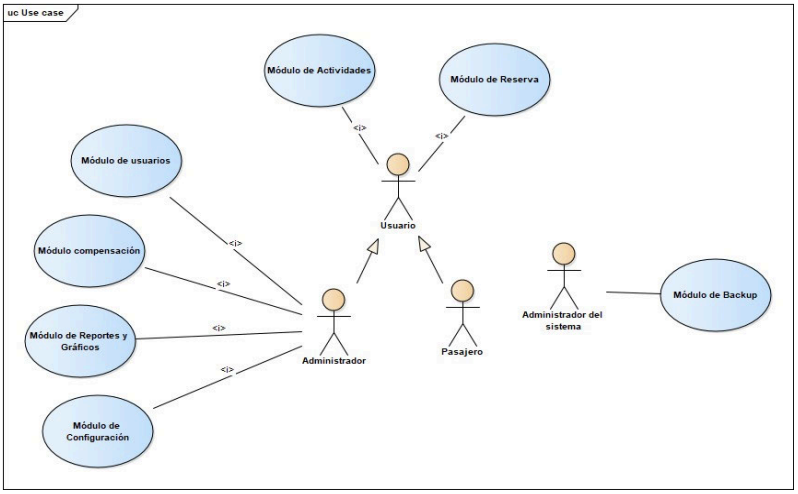
***Módulo de Usuarios***

El módulo de Gestión de Usuarios permite administrar de manera integral los usuarios del sistema, así como los roles y permisos asociados a cada uno.

Dentro de sus principales funcionalidades se encuentra la creación, edición, activación, desactivación y eliminación de usuarios. Cada usuario puede tener asignado uno o más roles, los cuales determinan los permisos y acciones que puede realizar dentro del sistema.

***Modelo de casos de uso***

Se proporciona un modelo de casos de uso de la interacción entre los módulos del sistema y los actores involucrados en la Figura 8. Este diagrama condensa y representa de manera clara cómo los diferentes componentes del sistema interactúan entre sí y con los actores.



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Figura 8: Modelo de casos de uso de módulo*

**Tecnologías utilizadas**

El desarrollo de *TurisGO* se apoyó en un conjunto de herramientas y tecnologías modernas que permitieron una implementación robusta, escalable y alineada con los estándares actuales de la industria del software.

Durante la etapa de gestión del proyecto y documentación, se utilizaron herramientas colaborativas como Google Drive [1], ProjectLibre [2] y ClickUp [3], las cuales facilitaron la planificación, seguimiento de tareas y registro de decisiones a lo largo del ciclo de vida del desarrollo.

Para el diseño del sistema, se recurrió a Enterprise Architect [4] para la modelación de casos de uso y estructura del software, y a Figma [5] para la creación de prototipos de interfaces gráficas, permitiendo validar la experiencia del usuario antes de la implementación.

El desarrollo del frontend fue realizado utilizando React [7] con TypeScript [6], lo que brindó una interfaz dinámica, modular y tipada, optimizando la mantenibilidad del código y la experiencia del usuario. Para el backend, se utilizó Java [8] con Spring Boot [9], lo cual permitió construir una API REST segura y eficiente, conectada a una base de datos MySQL [10], encargada de almacenar toda la información del sistema.

La validación y pruebas de rendimiento fueron llevadas a cabo mediante Apache JMeter [12], mientras que Postman [11] se empleó para el testeo y documentación de las APIs. Para el versionado de código y trabajo colaborativo, se utilizó Git [13] junto con GitHub [14], asegurando control de cambios y respaldo del proyecto. El desarrollo fue realizado en Visual Studio Code [15] como entorno principal.

Este ecosistema tecnológico permitió construir una solución robusta, con una arquitectura moderna y preparada para futuras ampliaciones, garantizando así su viabilidad técnica y operativa para su implementación en agencias de turismo reales.

***Modelo de Datos***

Se presenta el modelo de datos del sistema en la Figura 9, mediante un diagrama de clases reducido. Este diagrama representa la estructura fundamental de la base de datos, mostrando las entidades principales, sus atributos y las relaciones entre ellas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



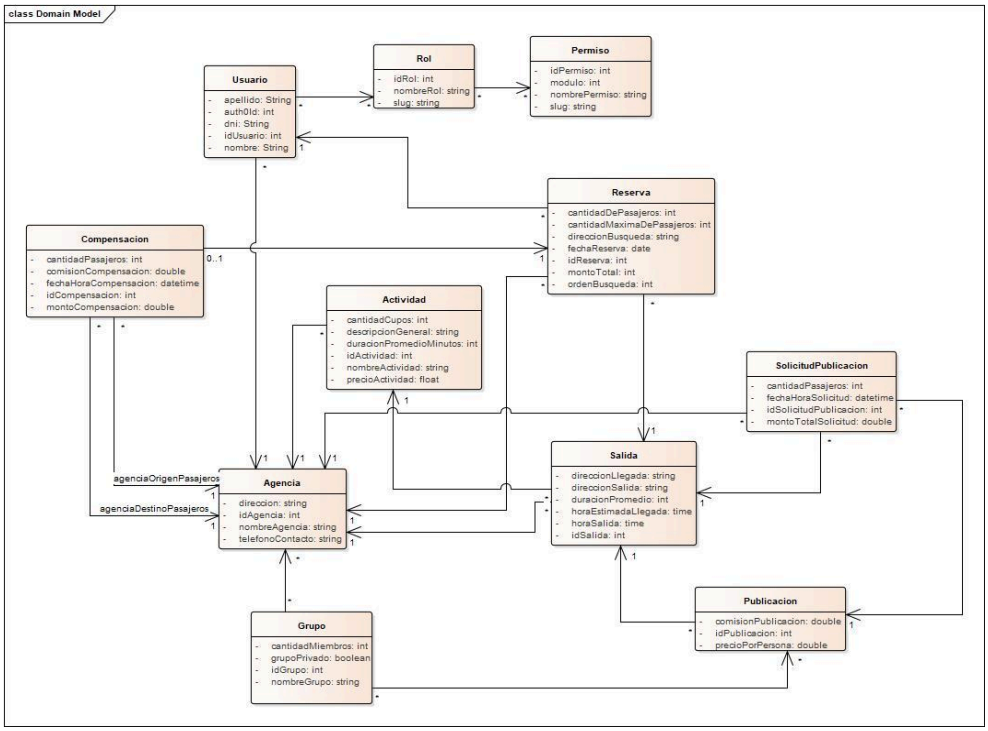
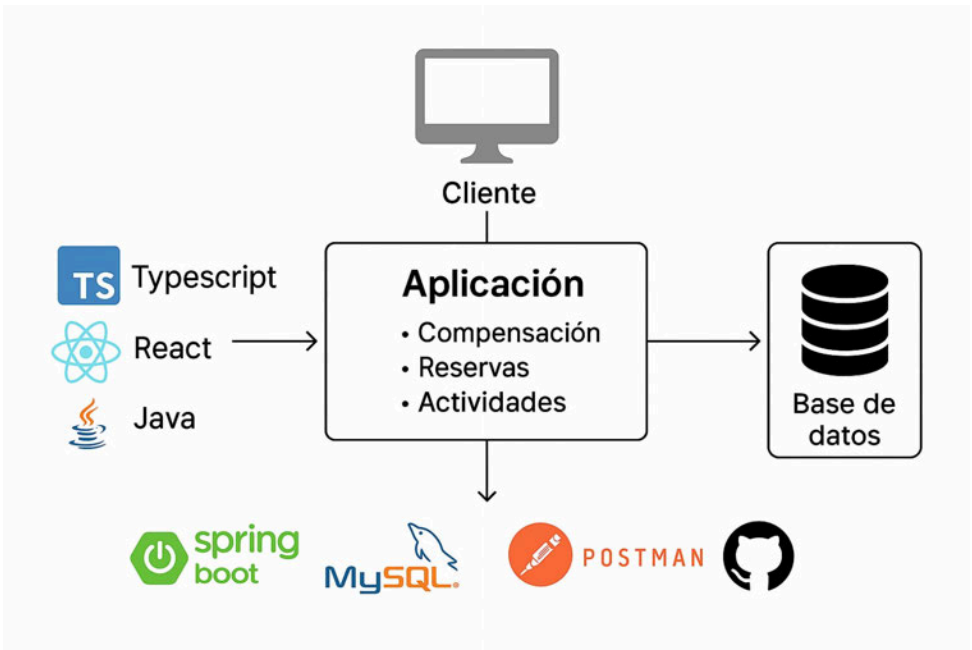



*Figura 9 : Diagrama de Clases Reducido*

***Arquitectura del sistema***



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Figura 10: Diagrama de arquitectura del sistema*

**Resultados**

Como resultado del desarrollo de TurisGO, se logró implementar una plataforma web funcional que integra de manera eficiente los procesos clave de las agencias de turismo. El sistema fue probado con datos simulados y en condiciones controladas, permitiendo validar el correcto funcionamiento de cada uno de sus módulos.

Durante las pruebas, se pudo comprobar que el **módulo de reservas** permite registrar, modificar y gestionar eficientemente las solicitudes de los pasajeros, mientras que el **módulo de actividades** facilita la organización y visibilidad de las excursiones ofrecidas. El **módulo de compensación** se destacó por su capacidad para conectar agencias y facilitar el intercambio de pasajeros, simulando escenarios donde se evitaban cancelaciones gracias a la transferencia efectiva de cupos. Este componente evidenció ser clave para mejorar la ocupación de los servicios turísticos y reducir la pérdida económica por baja demanda.

El **módulo de reportes y gráficos** generó información valiosa en tiempo real, permitiendo a los administradores visualizar indicadores estratégicos de operación y finanzas, lo cual contribuye a una toma de decisiones más informada. Por su parte, los módulos de **configuración** y **usuarios** ofrecieron flexibilidad y control sobre la personalización de parámetros de la agencia, como políticas de cancelación, descuentos, roles y permisos.

Los usuarios de prueba (administradores de agencias, pasajeros, operadores, etc) reportaron una experiencia positiva con la interfaz del sistema, destacando su usabilidad y la claridad de las funcionalidades. Asimismo, el diseño modular y escalable de TurisGO permite su adaptación a diferentes tamaños de agencia y modelos operativos, sentando las bases para su implementación real en el mercado.

**Discusión**

El desarrollo de TurisGO representa un avance significativo en la gestión operativa de agencias de turismo, especialmente en contextos donde la colaboración entre agencias es limitada o nula. La plataforma no solo permite centralizar y automatizar procesos fundamentales como la gestión de reservas, actividades y reportes, sino que introduce un enfoque innovador mediante su sistema de **compensación entre agencias**, el cual resuelve una problemática recurrente en el sector: la subutilización de recursos por falta de comunicación entre agencias.

El impacto del módulo de compensación es particularmente relevante, ya que fomenta el trabajo colaborativo entre agencias que tradicionalmente operaban de forma aislada. Esta funcionalidad mejora la rentabilidad de las excursiones, reduce los costos operativos y disminuye la huella ambiental al maximizar la ocupación de los vehículos turísticos. A su vez, permite que las agencias eviten pérdidas asociadas a cancelaciones por baja demanda, al mismo tiempo que brinda un servicio más completo y confiable a los clientes.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Además, el uso de herramientas modernas como Spring Boot, React y MySQL, en conjunto con buenas prácticas de desarrollo, garantiza la escalabilidad y mantenibilidad del sistema. La división del sistema en módulos funcionales mejora la organización del código y facilita futuras ampliaciones o personalizaciones para adaptarse a nuevas necesidades del mercado turístico.

En conjunto, TurisGO propone una solución integral que responde a las necesidades actuales del sector turístico local, promoviendo la eficiencia operativa, la digitalización de procesos y la cooperación entre actores clave. Este enfoque colaborativo representa una evolución en la forma de operar del rubro, sentando las bases para un ecosistema turístico más sostenible, rentable y conectado.

**Trabajos relacionados**

En el mercado actual existen diversas soluciones tecnológicas orientadas a la gestión de agencias de turismo. Plataformas como **TrekkSoft** ofrecen sistemas de reservas online, gestión de inventario y automatización de procesos operativos. Estos sistemas se centran principalmente en la digitalización individual de cada agencia, permitiendo la venta de actividades a través de canales online y la administración centralizada de reservas.

**TurisGO se diferencia** de estas soluciones existentes al introducir el **módulo de compensación**, una funcionalidad innovadora que permite la colaboración activa entre agencias para el intercambio de pasajeros. Mientras que las plataformas tradicionales buscan optimizar la operación individual de cada agencia, TurisGO propone un **ecosistema colaborativo** donde múltiples agencias pueden beneficiarse.

Esta característica representa un **aporte significativo al sector**, ya que transforma el modelo operativo tradicional basado en la competencia aislada hacia uno fundamentado en la **cooperación estratégica**, al tiempo que mantiene todas las funcionalidades estándar de gestión que ofrecen las plataformas comerciales existentes.

**Conclusiones**

El desarrollo de TurisGO permitió abordar de forma efectiva una problemática concreta del sector turístico: la falta de integración y comunicación entre agencias, que deriva en la subutilización de recursos y pérdida de oportunidades comerciales. La plataforma brinda una solución tecnológica integral, centralizando la gestión operativa de cada agencia y proponiendo un modelo de colaboración que optimiza la rentabilidad de todas las partes involucradas.

Gracias a su diseño modular, TurisGO permite una gestión eficiente de reservas, actividades, usuarios y reportes, al tiempo que introduce el innovador módulo de compensación, el cual constituye un aporte diferencial con impacto directo en la sostenibilidad económica y ambiental de las operaciones turísticas, fomentando un ecosistema más colaborativo y eficaz.

Desde el punto de vista tecnológico, la implementación del frontend utilizando React [7] con TypeScript [6] proporcionó una interfaz de usuario moderna y altamente mantenible, mientras que el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



backend desarrollado en Java [8] con Spring Boot [9] aseguró una API REST robusta y escalable conectada a MySQL [10]. Las herramientas de gestión como Google Drive [1], ProjectLibre [2] y ClickUp [3] facilitaron la planificación y coordinación del equipo, mientras que Enterprise Architect [4] y Figma [5] fueron fundamentales para el modelado y diseño de interfaces. La implementación de Git [13] y GitHub [14] garantizó la trazabilidad de cambios, complementado con Postman [11] y JMeter [12] para asegurar la calidad y rendimiento del sistema.

En síntesis, TurisGO se posiciona como una herramienta versátil para transformar la gestión turística local, modernizando procesos tradicionales, potenciando la cooperación interagencial y mejorando la experiencia de operadores y pasajeros.

**Referencias bibliográficas**

[1] Google Drive. (s. f.). Recuperado 20 de julio de 2025, de https://drive.google.com

[2] ProjectLibre. Open Source Project Management Software. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://www.projectlibre.com/

[3] ClickUp. One app to replace them all. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://clickup.com/

[4] Sparx Systems. Enterprise Architect. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://sparxsystems.com/

[5] Figma: The Collaborative Interface Design Tool. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://www.figma.com/

[6] TypeScript: JavaScript With Syntax For Types. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://www.typescriptlang.org/

[7] React – A JavaScript library for building user interfaces. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://react.dev/

[8] Java. What is Java technology and why do I need it? Recuperado 20 de julio de 2025, de https://www.java.com/

[9] Spring Boot – Spring framework for building production-ready apps. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://spring.io/projects/spring-boot

[10] MySQL. The world's most popular open-source database. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://www.mysql.com/

[11] Postman API Platform. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://www.postman.com/

[12] Apache JMeter – Performance testing tool. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://jmeter.apache.org/

[13] Git. Free and open source distributed version control system. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://git-scm.com/

[14] GitHub: Let's build from here. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://github.com/

[15] Visual Studio Code – Code Editing. Redefined. Recuperado 20 de julio de 2025, de https://code.visualstudio.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# App que permite escanear objetos reales para luego visualizarlos e interactuar con ellos en un entorno de realidad aumentada.

**Mariano Toloza**
**Patricio Amarelle**
**Alexis Guido**
**Matias Grilli**
**Luciano Vitale**

***Universidad Nacional de la Matanza, Departamento de Ingeniería***

**Abstract**
*Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una aplicación móvil para dispositivos Android que permita a los usuarios que viven en Argentina, escanear objetos físicos, como muebles, y visualizarlos en un entorno de realidad aumentada (RA) para planificar su distribución dentro de distintos ambientes. La iniciativa surge de la necesidad de optimizar procesos complejos y propensos a errores como las mudanzas, la decoración y el diseño de interiores. La aplicación incorpora funcionalidades de medición precisa, manipulación manual y sugerencias automáticas de ubicación, lo que facilita la organización espacial y mejora la toma de decisiones. A través del modelado 3D y la utilización de realidad aumentada, se logró implementar una herramienta capaz de generar modelos virtuales a partir del escaneo de objetos reales, con la posibilidad de guardarlos y reutilizarlos en diferentes proyectos. Entre los beneficios esperados se encuentran la reducción de la incertidumbre y el stress que conlleva este tipo de actividades, el aumento de la precisión en la planificación, la mejora de la experiencia del usuario y la incorporación de una solución tecnológica moderna e intuitiva. La solución tiene aplicaciones prácticas tanto para usuarios particulares como para empresas dedicadas a mudanzas, decoración y planificación de espacios.*

**Palabras Clave**
Aplicación Móvil, objetos 3D, realidad aumentada, RA, mudanza.

## Introducción

Argentina es un país de grandes ciudades donde la movilidad residencial [1] suele ser muy común, surge una necesidad concreta: contar con herramientas tecnológicas que faciliten y optimicen procesos logísticos y espaciales como las mudanzas [2], la planificación del hogar y la decoración. Las soluciones tradicionales basadas en mediciones manuales, estimaciones visuales y pruebas físicas— suelen ser engorrosas, ineficientes y propensas a errores que conllevan costos adicionales y pérdida de tiempo. En este marco, el presente proyecto se propone abordar un problema relevante tanto en el ámbito doméstico como profesional: Sin embargo, el uso de la cinta métrica y otros métodos manuales para comprobar si los objetos caben en un espacio determinado de la vivienda añade un nivel extra de estrés a esta situación.

Con tecnologías emergentes como la realidad aumentada [3] (RA), que en los últimos años ha despertado un creciente interés en el ámbito científico y académico [4] debido a su potencial para optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones y reducir el margen de error en tareas prácticas. Diversas investigaciones han demostrado que la RA puede disminuir la carga cognitiva y el estrés en actividades de planificación y medición en entornos reales lo que respalda la relevancia de este proyecto como aporte al campo.

El proyecto Easy Moving surge como respuesta a las limitaciones identificadas en los métodos tradicionales de medición y planificación de espacios. Su propósito es desarrollar una aplicación móvil multiplataforma que integre tecnologías de realidad aumentada (RA) para escanear objetos y entornos en tiempo real, obtener

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mediciones precisas, reubicar elementos de forma manual o automática y almacenar configuraciones completas para su posterior reutilización. Esta propuesta busca explorar el potencial de la RA como herramienta para optimizar procesos de planificación espacial, reducir errores en la adquisición o traslado de mobiliario y disminuir los tiempos asociados a la organización de ambientes. Asimismo, se plantea como un aporte al estudio de cómo las tecnologías emergentes pueden mejorar la eficiencia y la precisión en contextos residenciales y comerciales.

Este trabajo se organiza en diferentes secciones que abordan de forma estructurada cada etapa del desarrollo del proyecto. Primero se presenta una descripción del modelo de negocio y el análisis competitivo. Luego se define el alcance funcional del producto mediante historias de usuario y criterios de aceptación. A continuación, se detallan los aspectos técnicos de la arquitectura de software, experiencia de usuario, planificación de versiones y pruebas. Finalmente, se describen los riesgos asumidos, los recursos requeridos, los indicadores financieros proyectados y la hoja de ruta para su implementación.

**Entorno de desarrollo**

La aplicación fue desarrollada utilizando el motor Unity Engine, junto con los SDKs de realidad aumentada ARCore [5] y Lightship Niantic [6], aprovechando sus capacidades de escaneo de superficies, generación de mallas 3D y posicionamiento espacial. La lógica de negocio y la interfaz de usuario fueron implementadas en C#, respetando estándares de codificación definidos para el proyecto. La infraestructura tecnológica incluyó una base de datos SQL para la persistencia de datos, y el uso de la API Meshy [7] para el modelado en 3D de objetos escaneados.

Las funcionalidades implementadas permiten al usuario:

- Escanear objetos y ambientes físicos, generando modelos 3D con medidas aproximadas.
- Guardar objetos escaneados y reutilizarlos en distintos proyectos.
- Posicionar objetos de forma manual o recibir sugerencias automáticas de distribución inteligente.
- Visualizar, crear, modificar o eliminar proyectos, diseños y catálogos de objetos.
- Interactuar con un catálogo visual de muebles, manipularlos en RA, y previsualizar su ubicación en el espacio.

**Arquitectura de Software**

La arquitectura del sistema se centra en la aplicación móvil para Android, que integra las funciones de captura, medición, modelado y visualización de objetos. Se combina el almacenamiento local de proyectos con una base de datos en la nube para la gestión de usuarios, lo que garantiza independencia en el manejo de archivos y, al mismo tiempo, permite la autenticación y sincronización de perfiles.

**Conexión entre módulos**

- Aplicación móvil (Unity + RA): núcleo del sistema. Captura imágenes, mide objetos mediante ray casting, convierte las imágenes en base64 y las envía a la API externa. Además, gestiona el almacenamiento local de los proyectos y archivos .glb, y permite la visualización de modelos 3D en RA.
- API de modelado 3D (Meshy): servicio externo encargado del procesamiento intensivo de modelado. A partir de las imágenes en base64 enviadas por la app, devuelve modelos tridimensionales en formato .glb.
- Base de datos de usuarios (SQL Server en la nube [8]): administra el registro, login y perfiles de los usuarios. Permite la autenticación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



segura y la sincronización de proyectos entre múltiples dispositivos.

**Lógica del sistema**

- El usuario captura un objeto o un ambiente desde la app.
- Unity aplica ray casting para obtener dimensiones precisas.
- La app convierte las imágenes a base64 y las envía a la API de Meshy.
- La API procesa la información y devuelve un modelo 3D [9] en formato .glb.
- El archivo generado se almacena en la memoria del dispositivo móvil, asociado a un proyecto del usuario.
- Paralelamente, la app interactúa con la base de datos de usuarios en la nube para validar el login y sincronizar información de proyectos.
- La aplicación permite visualizar e interactuar con el modelo en realidad aumentada directamente desde el celular.

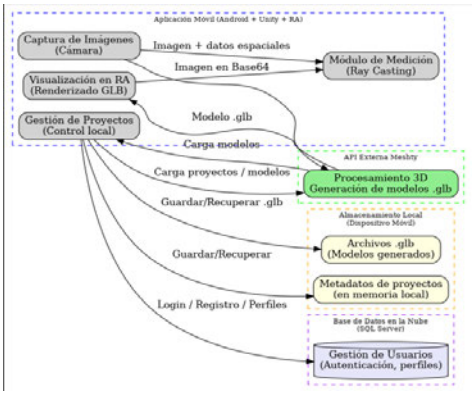



**Figura 1 – Diagrama de arquitectura**

El funcionamiento de la aplicación se estructura en dos modos principales:

- Modo Objeto: El usuario escanea un mueble u objeto real capturando una imagen desde la cámara del dispositivo. Esta imagen se envía a la API externa, que procesa el contenido y devuelve un modelo tridimensional estimado. Simultáneamente, la aplicación toma las medidas del objeto para construir una representación a escala, permitiendo su posterior redimensionamiento. El objeto escaneado se guarda automáticamente en el catálogo de objetos, desde donde puede ser reutilizado en distintos proyectos.
- Modo Ambiente: En este modo, la cámara del dispositivo permite visualizar en tiempo real el ambiente físico del usuario. Sobre esta imagen en vivo, los objetos previamente escaneados o seleccionados del catálogo pueden ser posicionados en el espacio utilizando realidad aumentada. Los objetos pueden ser ubicados de forma manual, mediante gestos táctiles, o utilizando sugerencias de distribución de pendiendo del tipo de objeto.

Además, la aplicación permite al usuario crear y guardar proyectos, de esta forma obtenemos una imagen del ambiente decorado por el usuario.

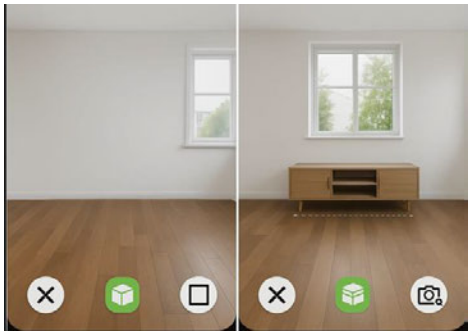


**Figura 2 – Objeto en RA**

**Requisitos Técnicos y Alcances**

En este mínimo producto viable que se definió se consideraron ciertas restricciones, como la compatibilidad con dispositivos Android 7.0 o superior, la necesidad de hardware con soporte para RA, y posibles limitaciones en entornos con baja iluminación o espacio exterior (cuando

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la iluminancia es menor que 100 lux). Asimismo, se identificaron riesgos como la sobrecarga del CPU/GPU en dispositivos de gama baja, la complejidad del modelado 3D en tiempo real y la dependencia de servicios externos (Unity, API de modelado).



**Figura 3 – Modelo 3D visto en RA**

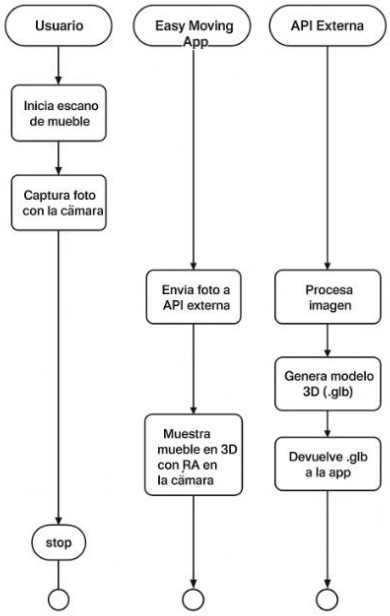



**Figura 4 – Diagrama de actividades flujo principal**

## Trabajos Relacionados

Una de las aplicaciones más reconocidas es Magicplan [10], que permite generar planos de ambientes y realizar cálculos de áreas, además de incluir un catálogo de objetos en 3D. Sin embargo, su uso presenta barreras importantes: una versión gratuita muy limitada (solo permite un proyecto), cuenta con una interfaz poco intuitiva y problemas reportados en la pérdida de proyectos tras actualizaciones. Su precisión técnica se destaca, pero su experiencia de usuario restringe su adopción masiva.

Por otro lado, IKEA Place [11] ofrece una visualización sencilla e integrada con el catálogo de productos de la marca, permitiendo posicionar muebles virtualmente en espacios reales. No obstante, su funcionalidad está completamente limitada al ecosistema de IKEA, y no incluye herramientas de medición ni escaneo de objetos del entorno físico, lo que la vuelve insuficiente para procesos de planificación complejos o personalizados.

Planner 5D [12] es una alternativa más visual e intuitiva, con funciones de diseño asistido por IA y opciones de personalización. A pesar de ello, su versión gratuita es muy limitada y se han reportado errores funcionales relacionados con la cancelación de suscripciones, la precisión del renderizado y el manejo de geometrías complejas.

Por otro lado, las aplicaciones mencionadas necesitan más de una captura del objeto a modelar en 3D. Easy moving con una sola foto logra crear un modelo 3D idéntico al objeto original.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Durante el desarrollo de este proyecto se adentró en un terreno desafiante pero muy enriquecedor como lo es la realidad aumentada, con el objetivo de crear una herramienta útil y accesible para facilitar procesos cotidianos como la organización de espacios, las mudanzas y la decoración del hogar.

A lo largo del proyecto se logró implementar las funcionalidades principales: escaneo de objetos, medición precisa, guardado de proyectos, posicionamiento manual y sugerencias automáticas. Estas características

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permitieron ofrecer una experiencia de usuario fluida y alineada con las necesidades reales del público objetivo. Sin embargo, también se encontraron consideraciones técnicas, como la exigencia de hardware compatible con RA y la necesidad de optimizar el rendimiento en dispositivos de gama media o baja.

Además, la aplicación tiene un fuerte componente de proyección comercial, permitiendo monetizar sus funcionalidades a través de suscripciones, publicidad dirigida y colaboraciones estratégicas con marcas del sector.

Una vez consolidada la aplicación en Android, se planea expandirla al ecosistema iOS para alcanzar una mayor cantidad de usuarios.

El objetivo es posicionar a *Easy Moving* como una herramienta de referencia en el uso cotidiano de la realidad aumentada [13], demostrando que la tecnología puede simplificar procesos complejos de forma práctica, moderna e intuitiva. Por otro lado, Easy Moving logra destacar por su experiencia de usuario y precisión a la hora de escanear objetos, ya que con sólo una captura de este logra crear un modelo 3D de alta fidelidad.

## Referencias

[1] Movilidad residencial de sectores medios y populares
https://www.redalyc.org/journal/4028/402855081006/html/

[2] Reflexiones sobre el proceso de mudanza en las políticas de vivienda
https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-36552015000400007&script=sci_arttext

[3] Measuring cognitive load in augmented reality with physiological methods: A systematic review
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.12882#:~:text=Algunos%20investigadores%20desarrollaron%20herramientas%20de,et%20al.%2C%202022%20

[4] Efectos de la realidad aumentada sobre el aprendizaje y la carga cognitiva en los cursos universitarios de laboratorio de física
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563220300704

[5] Unity herramientas para realidad aumentada
https://unity.com/es/unity/features/arfoundation

[6] Niantic SDK para Unity
https://lightship.dev/docs/

[7] Meshy herramienta de modelado 3D
https://www.meshy.ai/discover

[8] Azure SQL
https://azure.microsoft.com/es-es/products/azure-sql/database

[9] Fotogrametría y modelos 3D
https://www.autodesk.com/es/solutions/photogrammetry-software

[10] Magicplan
https://www.magicplan.app/

[11] IKEA Place
https://www.ikea.com/gb/en/customer-service/mobile-apps/

[12] Planner 5D
https://planner5d.com/es

[13] La Realidad Aumentada: tecnología emergente para la sociedad del aprendizaje
https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8931217.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ACONCARGA
## Sistema de gestión logística de cargas y camiones

**Resumen**

Este artículo describe el proyecto desarrollado como trabajo final de la Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, denominado Aconcarga, un sistema integrado de gestión logística de cargas y camiones. El transporte de cargas requiere una coordinación eficiente entre múltiples actores (remitentes, transportistas, conductores, clientes), en un entorno donde la visibilidad de las operaciones y la optimización de recursos son fundamentales. Sin embargo, gran parte del sector en países como Argentina aún opera con procesos manuales y baja adopción tecnológica; de hecho, solo un 4 % de los transportistas ha digitalizado sus operaciones logísticas [1]. Esta situación genera ineficiencias en la asignación de cargas, el seguimiento de envíos y la comunicación entre las partes.

Aconcarga fue diseñado como una plataforma web progresiva (PWA) con acceso móvil, desarrollada con Next.js para el frontend y Laravel/PHP con MySQL para el backend, bajo una arquitectura cliente-servidor y APIs RESTful. El proyecto se gestionó con GitHub (versionado de código y CI), metodologías iterativas, pruebas unitarias y despliegue en entornos Linux con Docker y servidor en la nube con SSL. Entre sus funcionalidades principales se incluyen la publicación y asignación eficiente de cargas, la planificación de rutas, el monitoreo GPS en tiempo real mediante aplicación móvil, la digitalización de documentos de entrega y un módulo de reputación que evalúa el cumplimiento de los actores.

Aconcarga mejora la visibilidad de las operaciones, reduce errores en la coordinación logística y aumenta la satisfacción de los usuarios frente a métodos tradicionales. En conclusión, constituye una solución tecnológica viable y escalable para modernizar la logística de cargas, integrando en una sola plataforma capacidades que anteriormente requerían múltiples herramientas.

**Abstract**

This article describes the project developed as the final graduation work of the Information Systems Engineering program, called Aconcarga, an integrated system for freight and truck logistics management. Freight transport requires efficient coordination among multiple stakeholders (shippers, carriers, drivers, and clients) in an environment where operational visibility and resource optimization are essential. However, much of the sector in countries such as Argentina still relies on manual processes and shows a low level of technological adoption; in fact, only 4% of carriers have digitalized their logistics operations [1]. This situation results in inefficiencies in load assignment, shipment tracking, and communication between the parties involved.

Aconcarga was designed as a progressive web platform (PWA) with mobile access, developed with Next.js for the frontend and Laravel/PHP with MySQL for the backend, following a client-server architecture with RESTful APIs. The project was managed using GitHub (code versioning and CI), iterative methodologies, unit testing, and deployment in Linux environments with Docker and a cloud-based server with SSL. Core functionalities include efficient load publication and assignment, route planning, real-time GPS tracking via a mobile interface, digital delivery documentation, and a reputation module to assess service compliance.

Aconcarga enhances operational visibility, reduces coordination errors, and increases user satisfaction compared to traditional methods. In conclusion, it constitutes a viable and scalable technological solution to modernize freight logistics by integrating into a single platform capabilities that previously required multiple tools.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Palabras clave**
Gestión de camiones, Logística, Control de Transporte, Cargas, Flotas

## Introducción

El transporte de cargas constituye una actividad clave para el funcionamiento económico y social de cualquier región, ya que permite el flujo de bienes entre productores, distribuidores y consumidores. Su eficiencia repercute directamente en los costos logísticos, la competitividad de las empresas y la sostenibilidad del sistema de distribución. En Argentina, esta relevancia se intensifica por la fuerte dependencia del transporte automotor: cerca del 92,7 % de las cargas se movilizan por camión, mientras que el ferrocarril apenas alcanza el 3,7 % y la hidrovía el 3,5 % del total transportado [3].

Sin embargo, la gestión de la logística enfrenta desafíos estructurales que dificultan su optimización. Entre ellos, se destacan la falta de visibilidad en tiempo real de las operaciones, la escasa automatización de los procesos y una débil integración entre los distintos actores de la cadena logística. Estos problemas se ven agravados por el contexto económico: según la Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas, los costos del transporte aumentaron un 247,6 % en 2023 y un 84,9 % en 2024, alcanzando un incremento acumulado de más del 347,000 % desde 2002 [4]. Este escenario eleva la presión sobre la competitividad del sector y genera una fuerte necesidad de modernización.

Actualmente, gran parte de las operaciones se coordinan de manera informal, mediante llamadas telefónicas, mensajería instantánea o intermediarios. Esta modalidad conlleva errores frecuentes en la asignación de cargas, demoras evitables y dificultades para documentar adecuadamente la trazabilidad del servicio. A su vez, muchas empresas de transporte carecen de herramientas digitales que permitan monitorear la ubicación de sus vehículos o evaluar el desempeño de sus operadores.

En este contexto, se identificó la necesidad de desarrollar una solución tecnológica que integre en una sola plataforma todas las funciones esenciales para la gestión logística de cargas y camiones. La propuesta de este trabajo consiste en diseñar e implementar Aconcarga, un sistema de información orientado a optimizar la coordinación, el seguimiento y la evaluación de las operaciones de transporte, tanto en modalidad abierta como en esquemas de flota propia.

El presente artículo describe el proceso de desarrollo de la solución, sus principales componentes funcionales y los resultados obtenidos en su validación preliminar. La estructura del trabajo se organiza en cinco secciones: introducción, metodología de desarrollo, resultados del sistema, discusión de sus beneficios y limitaciones, y conclusiones finales.

## Materiales y Métodos

Para el desarrollo de Aconcarga se siguió una **metodología iterativa** que abarcó desde la **identificación de requisitos** funcionales a partir del análisis de sistemas existentes, hasta la **implementación y pruebas** de un prototipo funcional. A continuación, se describen los pasos fundamentales de este proceso.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**1. Relevamiento de requerimientos**

Se inició el proyecto con un estudio de las necesidades del sector y de las soluciones ya disponibles. El equipo analizó en detalle varias plataformas de logística y transporte con el objetivo de extraer **funcionalidades clave y buenas prácticas**.. Este relevamiento permitió identificar funcionalidades deseables para el nuevo sistema, tales como: la publicación de cargas en un marketplace abierto, como puede observarse en la Figura 1 Gestión de Cargas; la asignación de camiones a cargas, como se ilustra en la Figura 2 Asignación de Transporte; el seguimiento por GPS de los vehículos, como puede observarse en la Figura 3 Información de la Carga; las notificaciones en tiempo real a los usuarios; la digitalización de comprobantes de entrega (POD); la generación de reportes de desempeño, como puede observarse en la Figura 6 Reporte y Estadísticas; y finalmente, los mecanismos de retroalimentación mediante calificaciones y opiniones de los participantes, como se aprecia en la Figura 5 Cierre. Asimismo, se detectaron **problemas en las soluciones actuales** que el nuevo sistema debería resolver. Se observó cierta dependencia de la aplicación móvil del conductor para su ubicación y la falta de herramientas de control alternativo en caso de desconexión, lo cual sugiere incorporar vías complementarias de gestión ante fallos de conectividad. En otros sistemas se advirtió ausencia de algunas capacidades, reportes automáticos o integración de un módulo de reputación. Con base en este análisis comparativo, se definió el **alcance preliminar** de Aconcarga, procurando combinar las fortalezas observadas y cubrir las debilidades detectadas en las plataformas existentes.

**2. Definición de objetivos y alcance del sistema**

A partir de los requerimientos recopilados, se estableció el objetivo general de Aconcarga: optimizar integralmente la gestión logística de cargas, facilitando el seguimiento eficiente de camiones, como puede observarse en la Figura 3 Información de la Carga, y mejorando la coordinación entre todos los actores involucrados en la operación En línea con este objetivo principal, se formularon objetivos específicos, entre ellos: **reducir errores operativos** en la asignación y ejecución de envíos, **mejorar la trazabilidad** de las cargas en todas las etapas (desde la carga inicial hasta la entrega final), **agilizar la comunicación** entre cargadores, transportistas y conductores, y **brindar flexibilidad** para adaptarse a distintos modelos de negocio (transporte de carga general para terceros o gestión privada de flota). También se definió que el sistema debería ser **modular y escalable**, permitiendo incorporar nuevas funcionalidades (por ejemplo, soporte para nuevos tipos de carga, integración con dispositivos IoT o servicios externos) sin requerir rediseños mayores. Con estos objetivos en mente, se delimitaron las funciones a implementar en la primera versión: publicación de carga y gestión de ofertas, asignación de viajes en modo abierto y cerrado, seguimiento de envíos, gestión de usuarios (roles de administrador, operador logístico, chofer, cliente), como puede observarse en la Figura 4 Gestión de Usuarios y Roles, mensajería y notificaciones, reporte de incidencias, calificación post-servicio, y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



generación de reportes básicos (viajes realizados, tiempos, etc.), como se presenta en la Figura 6 Reporte y Estadísticas.

**3. Diseño de la solución (arquitectura y módulos)**

En la fase de diseño se creó un modelo integral del sistema subdividido en **módulos funcionales** (ver figura 7), cada uno cubriendo un subconjunto de requerimientos. Como se puede observar en la figura 8, en el núcleo de Aconcarga se definió una arquitectura de **cliente-servidor web** de tres capas: una interfaz de usuario rica para navegadores web y dispositivos móviles, una capa de lógica de negocio implementada en el servidor, y una base de datos relacional para el almacenamiento persistente. La comunicación entre el frontend y el backend se diseñó a través de **API RESTful** sobre HTTP con intercambio de datos en formato JSON. Esta arquitectura permite que distintas aplicaciones cliente (por ejemplo, un panel web para operadores y una app móvil para conductores) interactúen con el mismo núcleo de servicios.

En cuanto a los módulos funcionales específicos, se diseñaron los siguientes componentes principales del sistema:

- **Gestión de Cargas**: Permite registrar, editar y publicar cargas, especificando datos como origen, destino, fechas, tipo de carga y condiciones particulares. Incluye mecanismos de búsqueda y filtrado para facilitar la asignación.




figura 1 - Gestión de Cargas

- **Asignación de Transporte**: Administra el proceso de emparejamiento entre cargas y transportistas.

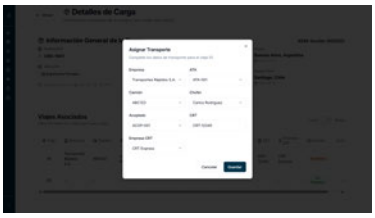


figura 2 - Asignación de Transporte

- **Ejecución y Seguimiento**: Se realiza el seguimiento GPS del viaje en tiempo real, permitiendo registrar hitos del recorrido y generar alertas.

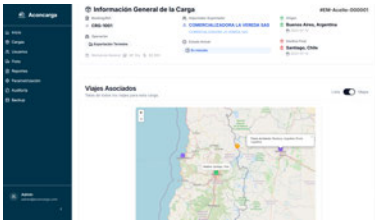



figura 3 - Información de la carga

- **Gestión de Usuarios y Roles**: Define perfiles diferenciados con permisos específicos. Cada rol accede solo a las funcionalidades necesarias según su participación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



en la operación.

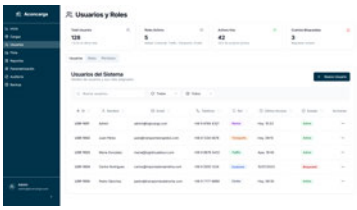


figura 4 - Gestión de Usuarios y Roles

- **Documentación y Cierre**: Permite registrar la entrega mediante comprobantes digitales, y habilita la calificación cruzada entre las partes involucradas para construir un historial de reputación.



figura 5 - Cierre

- **Reportes y Analíticas**: Genera informes sobre operaciones realizadas, cumplimiento de tiempos, utilización de flotas y nivel de servicio, con posibilidad de exportación.

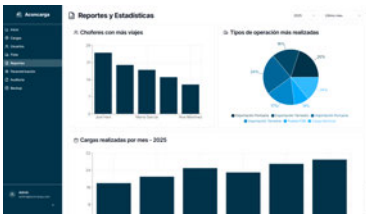


figura 6 - Reporte y Estadísticas

En resumen, el diseño modular de Aconcarga abarca el **ciclo completo de la operación logística de cargas**, desde la publicación y planificación hasta la entrega y evaluación. Esta amplia cobertura funcional es una de las contribuciones esenciales del sistema, ya que integra en una única plataforma lo que típicamente requeriría varias aplicaciones especializadas. Los cargadores ingresan cargas en el sistema, los transportistas (operadores o autónomos) visualizan y toman o se les asignan esas cargas, los conductores ejecutan el viaje enviando datos de seguimiento, y finalmente tanto cargadores como transportistas retroalimentan el resultado. Todo ello orquestado por el núcleo de Aconcarga, que envía notificaciones y almacena la información para reportes.

## 4. Implementación tecnológica

Con el diseño validado mediante revisiones internas, se procedió a la implementación del sistema. Para el **frontend** (interfaz web) se utilizó **Next.js** (framework basado en React), ampliamente documentado por Vercel como una herramienta orientada a la generación de aplicaciones web escalables y eficientes [5], aprovechando su soporte nativo para aplicaciones móviles progresivas (PWA), reconocidas como una alternativa multiplataforma ligera frente a las aplicaciones nativas [6]. La interfaz fue diseñada con un enfoque *responsive* para adaptarse a distintos dispositivos y servir también como base de la aplicación móvil de conductores. El **backend** se desarrolló sobre **Laravel** (framework PHP), seleccionado por su robustez, facilidad para estructurar APIs REST y la extensa comunidad de soporte que lo posiciona como uno de los frameworks PHP más utilizados en la actualidad [7]. Laravel permitió implementar rápidamente las entidades del dominio (cargas, usuarios,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



vehículos, órdenes, etc.) y gestionar la base de datos relacional (MySQL) mediante migraciones. También se integraron paquetes para autenticación JWT y notificaciones en tiempo real para las alertas de nuevos envíos y actualizaciones de tracking. En cuanto a la **aplicación móvil** de conductores, se optó por una estrategia híbrida: en esta etapa inicial no se desarrolló un aplicativo nativo separado, sino que se aprovechó la web móvil y las capacidades de PWA para que los choferes puedan usar la misma interfaz optimizada desde su teléfono. Esto agilizó el desarrollo aunque, de requerirse mayor complejidad nativa en el futuro (p. ej. funcionamiento *offline* prolongado), podría evaluarse React Native o Flutter para una app dedicada.

Durante la implementación se adoptaron **prácticas de ingeniería de software** acordes a un proyecto de este alcance. El código fuente se versionó en un repositorio Git, manejando ramas separadas para desarrollo, pruebas y producción. Se escribieron **pruebas unitarias y de integración** para las partes críticas (especialmente en el backend: lógica de asignación, autenticación), y se configuró un entorno de integración continua (CI) con GitHub Actions para ejecutar estas pruebas en cada *push* importante, garantizando la estabilidad de las compilaciones. Asimismo, se llevaron a cabo **pruebas funcionales** manuales del sistema en escenarios de extremo a extremo: creación de una carga por un usuario cargador, toma de la misma por un transportista, seguimiento del viaje por parte del cliente mientras el conductor reporta su ubicación, y cierre con calificaciones. Estas pruebas permitieron depurar errores e iterar sobre la interfaz para mejorar la usabilidad. Cabe destacar que también se realizó una **evaluación piloto con usuarios** reales simulados: se invitó a un pequeño grupo de usuarios potenciales a probar el sistema en un caso de uso controlado, recopilando sus impresiones mediante encuestas de satisfacción al finalizar la prueba. Este feedback se utilizó para ajustar aspectos de la experiencia de usuario.

## 5. Entorno de despliegue

Para demostrar la factibilidad operativa, Aconcarga se desplegó en un entorno de servidor de pruebas. Se utilizó un servidor Linux en la nube, configurando contenedores Docker tanto para la aplicación web como para la base de datos, a fin de aislar dependencias y facilitar escalabilidad, en línea con las recomendaciones oficiales de Docker Inc. sobre despliegue de microservicios [8] . Se configuró HTTPS con certificados SSL para asegurar las comunicaciones y cumplir con requisitos básicos de seguridad en la transferencia de datos sensibles (credenciales, ubicaciones, etc.). El sistema se probó con datos simulados y algunas cargas de ejemplo, verificando su desempeño en condiciones cercanas a las de producción. La arquitectura elegida demostró ser escalable horizontalmente: en caso de mayor demanda, se pueden replicar instancias del backend detrás de un balanceador de carga y habilitar un CDN para el frontend, asegurando respuesta ágil a múltiples usuarios concurrentes. También se consideró la importancia de la **disponibilidad** y se preparó un plan básico de contingencia (respaldos periódicos de la base de datos, y un monitoreo de uptime del servidor). Con estas medidas, se buscó garantizar que el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistema no solo cumpla con la funcionalidad requerida, sino que también sea **viable técnicamente** para su uso continuo en un entorno real.

En síntesis, la metodología combinó un fuerte análisis inicial del problema y las soluciones existentes, un diseño modular orientado a satisfacer los requisitos integrales de la logística de cargas, y una implementación con tecnologías web modernas apoyada por buenas prácticas de desarrollo. Este proceso culminó en un sistema funcional cuya evaluación preliminar se describe en la siguiente sección.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Diagrama de clases

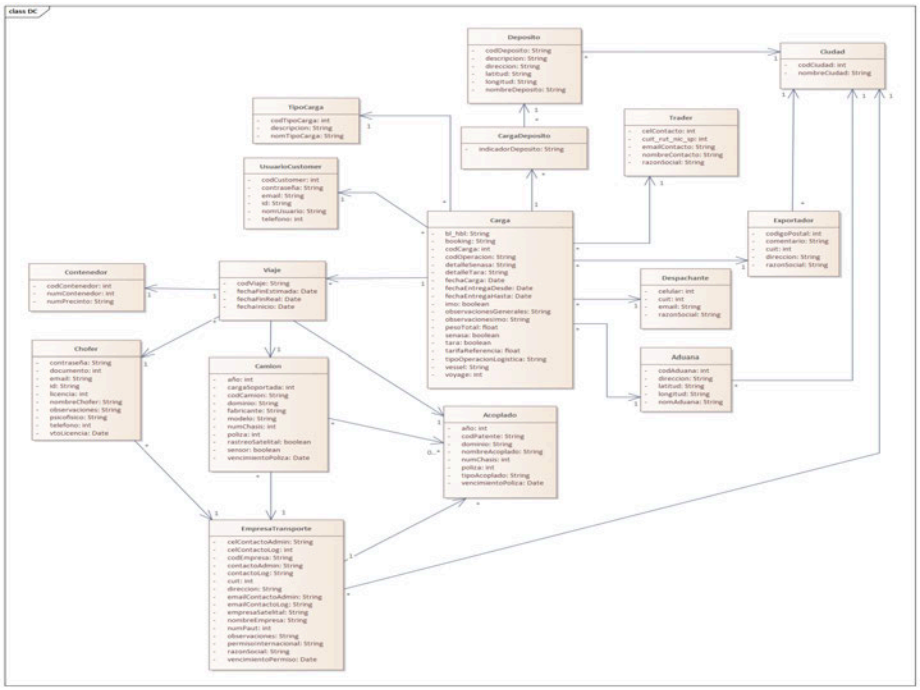



figura 7 - Diagrama de clases reducido

## Diagrama de arquitectura

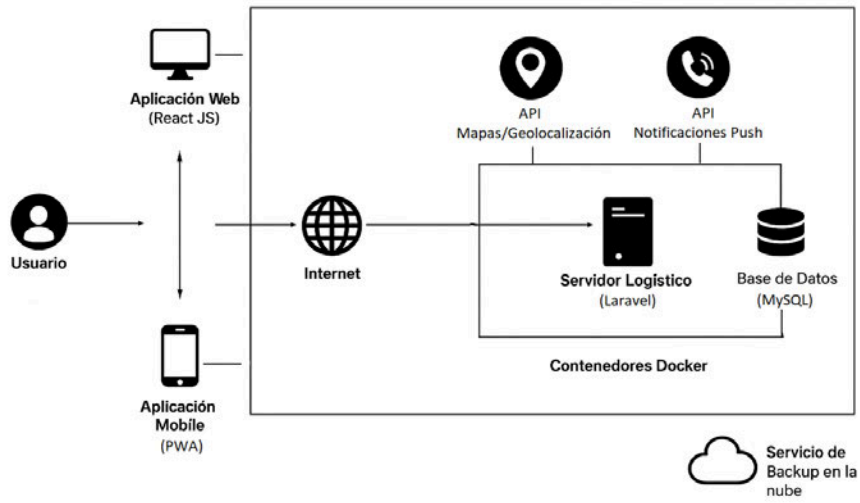



figura 8 - Diagrama de Arquitectura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Resultados**

Los resultados obtenidos al finalizar el proyecto fueron altamente satisfactorios. Se logró desarrollar un sistema funcional que responde a las necesidades identificadas en el relevamiento inicial, integrando en una sola plataforma las herramientas necesarias para la gestión eficiente del transporte de cargas.

*Aconcarga* permite publicar, asignar, monitorear y cerrar viajes de forma completamente digital, optimizando tiempos operativos y reduciendo errores de coordinación. La aplicación móvil para conductores demostró ser intuitiva y efectiva para registrar eventos en tiempo real, mientras que la plataforma web facilitó el control centralizado de las operaciones.

Las pruebas realizadas confirmaron el correcto funcionamiento de cada módulo, así como la integración entre ellos. Se validó que el sistema mejora la trazabilidad de los envíos, agiliza la toma de decisiones logísticas y promueve buenas prácticas a través del sistema de reputación entre usuarios. En conjunto, *Aconcarga* se consolida como una solución innovadora y escalable para modernizar la logística de cargas.

**Discusión**

El desarrollo de **Aconcarga** aborda problemáticas centrales de la logística de transporte —trazabilidad, baja digitalización y coordinación entre actores— mediante una plataforma única que integra órdenes, seguimiento y evaluaciones entre usuarios. En pruebas de concepto, esta centralización mejoró la visibilidad operativa y habilitó decisiones más informadas.

No obstante, su desempeño en operación real depende de condiciones que exceden el software. En particular: **(i)** cumplimiento de ventanas y horarios de entrega (time windows), **(ii)** gestión de ausencia de receptor o puntos de contacto inválidos, **(iii)** calidad y completitud de datos previos al despacho (direcciones, referencias, restricciones de acceso), **(iv)** conectividad móvil heterogénea en ruta, y **(v)** variabilidad operacional (tránsito, clima, eventos no planificados). Estos factores pueden degradar ETAs, tasas de entrega exitosa y experiencia del usuario si no se acompañan de procesos y funciones específicas.

En su estado actual, Aconcarga mitiga parcialmente estos riesgos con: evidencia de entrega básica (firma/foto y sello temporal), planificación manual asistida desde la consola, alertas por excepciones (retrasos/estado de envío) y bitácora de eventos trazables. Sin embargo, la gestión avanzada de restricciones (p. ej., ventanas de entrega duras o. blandas, requisitos de contacto, restricciones de acceso) y la resiliencia offline del aplicativo del chofer requieren evolución para sostener calidad de servicio en contextos de alta incertidumbre.

Finalmente, la adopción a distintas escalas implica desafíos socio-técnicos: capacitación de choferes/operadores, estandarización de datos de clientes, y acuerdos de SLA entre partes. Aspectos de seguridad y privacidad (autenticación robusta, mínimos privilegios, cifrado en tránsito/descanso) y gobernanza de datos (propiedad, auditoría, retención) son

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



condición necesaria para su escalamiento sostenible.

**Conclusión**

Aconcarga se presentó como una solución integral para modernizar la logística de transporte de cargas, integrando en una sola plataforma funcionalidades como gestión de cargas, asignación, seguimiento, comunicación y evaluación de servicio.

El prototipo desarrollado cumplió los objetivos de mejorar la coordinación y trazabilidad, reduciendo tiempos de gestión, aumentando la visibilidad en tiempo real y generando confianza entre cargadores y transportistas. Su arquitectura modular y escalable demostró ser adecuada, y las pruebas con usuarios confirmaron su facilidad de uso y alta aceptación.

Los ensayos mostraron potencial para reducir errores, optimizar recursos y mejorar la puntualidad en las entregas. Además, se comprobó la viabilidad técnica y legal del sistema, con posibilidad de escalar en usuarios e integrar mejoras futuras. Frente a soluciones existentes, Aconcarga aporta valor diferencial al reunir en un único entorno lo que hoy requiere múltiples sistemas.

Se consolidó como una PWA accesible, intuitiva y confiable, desarrollada con tecnologías modernas y metodologías ágiles. El proyecto sienta bases sólidas para evolucionar hacia nuevas funciones como gestión comercial completa, aplicaciones móviles nativas, analítica avanzada con IA e integraciones con sistemas externos.

*Aconcarga* alcanzó con éxito sus objetivos iniciales y se posiciona como una herramienta innovadora con gran potencial para impulsar la digitalización y competitividad del sector logístico de cargas.

**Referencias**

[1]Impacto de la Digitalización en el Transporte en Argentina: Desafíos y Oportunidades

https://es.linkedin.com/pulse/impacto-de-la-digitalizaci%C3%B3n-en-el-transporte-argentina-desaf%C3%ADos-h36zf?trk=public_post_main-feed-card_reshare_feed-article-content

[2]Uber Freight y la logística automotriz: tecnología, precisión y evolución – Neuron

https://neuronbusinessmedia.mx/uber-freight-y-la-logistica-automotriz-tecnologia-precision-y-evolucion/

[3]¿A cuánto asciende anualmente el Transporte de cargas en Argentina? – Bolsa de Comercio de Rosario

https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/cuanto-1

[4]Entre 2002 y 2024, los costos del transporte de cargas en la Argentina aumentaron – Fadeeacland

https://www.fadeeac.org.ar/2025/01/30/entre-2002-y-2024-los-costos-del-transporte-de-cargas-en-la-argentina-aumentaron-347-653/

[5] Next.js Documentation – Vercel

https://nextjs.org/docs

[6] Progressive Web Apps – Google Developers

https://web.dev/progressive-web-apps/

[7] Laravel Documentation – Laravel

https://laravel.com/docs

[8] Docker Documentation – Docker Inc.

https://docs.docker.com/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Heimlich Trainer
# Innovación tecnológica para la enseñanza y evaluación de la maniobra de Heimlich

**Aguirre, Carlos Javier**
**Callapiña López, Juan Guillermo**
**Cespedes, Leonel Dario**
**Kuczerawy, Carlos Damian**

***Universidad Nacional de La Matanza, Cátedra de Proyecto Final***

**Resumen**

*Este trabajo presenta un dispositivo interactivo para la enseñanza de la maniobra de Heimlich, capaz de guiar, simular y evaluar la práctica de los usuarios. El sistema integra un torso sensorizado, un microcontrolador ESP32 y una aplicación móvil conectada por Bluetooth. Los sensores registran la fuerza, el contacto y la posición de las manos, mientras que la aplicación gestiona los entrenamientos y transmite las métricas obtenidas. Además, incorpora un modelo de Inteligencia Artificial en la nube que analiza imágenes en tiempo real para validar la correcta ejecución de la maniobra. El dispositivo ofrece tres módulos principales: Entrenamiento (instrucciones paso a paso), Simulación (práctica con retroalimentación automática) y Evaluación (generación de datos objetivos para instructores).*

**Palabras clave**

Heimlich, primeros auxilios, simulación, sensores, educación en salud, ESP32.

## Introducción

El atragantamiento constituye una de las emergencias médicas más frecuentes y con mayor riesgo de muerte súbita, ya que la obstrucción de la vía aérea impide la respiración en cuestión de segundos.[1] La maniobra de Heimlich es el procedimiento más efectivo para resolver esta situación [2], pero su correcta aplicación requiere de conocimientos prácticos que la población en general no suele poseer.

En Argentina, miles de emergencias por asfixia se registran anualmente, y sin embargo los métodos de enseñanza de primeros auxilios continúan siendo limitados. La mayoría de los cursos se basan en explicaciones teóricas o en maniquíes tradicionales que no brindan retroalimentación objetiva [2]. Esto genera que, al enfrentarse a una situación real, muchas personas no tengan la seguridad ni la confianza necesarias para actuar con rapidez y eficacia.

Ante esta problemática, surge el proyecto Heimlich Trainer, cuyo objetivo es ofrecer una herramienta innovadora que combine un torso sensorizado, una aplicación móvil y un sistema de Inteligencia Artificial en la nube. Este dispositivo busca mejorar el proceso de aprendizaje al proporcionar datos objetivos, feedback inmediato y escenarios de simulación que permitan entrenar y evaluar la maniobra de manera más realista y accesible.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





*Figura 1. Demostración de la maniobra de Heimlich aplicada en un adulto.*

**Composición general**

Desde el punto de vista global, la solución propuesta integra tres elementos principales: un torso sensorizado, una aplicación móvil y un conjunto de servicios de backend e inteligencia artificial.

- El **torso sensorizado** constituye el dispositivo físico donde el usuario realiza la maniobra. Contiene múltiples sensores que permiten capturar parámetros relevantes como fuerza, contacto e inclinación, así como indicadores visuales que brindan retroalimentación inmediata.
- La **aplicación móvil** funciona como interfaz principal, gestionando los tres modos de uso (Entrenamiento, Simulación y Evaluación). A través de ella se procesan los datos enviados por el torso mediante Bluetooth, se capturan imágenes en tiempo real y se muestran indicadores de desempeño al practicante.
- Los **servicios de backend** incluyen una base de datos para registrar las prácticas y una IA entrenada en reconocimiento de imágenes, que valida automáticamente la correcta aplicación de la maniobra a partir de la cámara del dispositivo.

De esta manera, la solución combina hardware, software e inteligencia artificial, constituyendo un sistema integral que facilita el aprendizaje, la práctica y la evaluación de la maniobra de Heimlich.

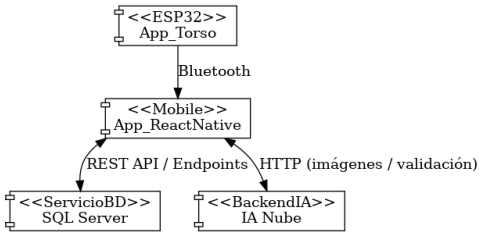



*Figura 2. Comunicación entre componentes.*

**Torso sensorizado**

El torso sensorizado constituye el núcleo físico de la solución propuesta, diseñado específicamente para simular de manera realista las condiciones de aplicación de la maniobra de Heimlich. Su propósito principal es capturar, en tiempo real, los parámetros críticos de la práctica —fuerza, contacto, postura y ubicación— y transmitirlos a la aplicación móvil para su procesamiento y retroalimentación inmediata.

Desde una perspectiva de diseño, el torso combina una estructura anatómica de poliuretano, que emula el cuerpo humano, con un conjunto de sensores electrónicos integrados estratégicamente para garantizar mediciones fiables. Estos sensores se gestionan mediante una placa

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ESP32, encargada tanto de la adquisición de datos como de la comunicación inalámbrica con la aplicación móvil.

De esta manera, el torso no solo funciona como un soporte físico para la práctica, sino como un dispositivo inteligente, capaz de registrar información objetiva de cada maniobra y facilitar el entrenamiento y la evaluación asistida.

El torso está compuesto por distintos componentes, los cuales son:

- **Placa ESP32**: Su función es la de la lectura de los sensores del torso y la comunicación con la aplicación móvil.
- **Sensor FSR**: Su función es la de medir la fuerza ejercida en el torso durante la maniobra de Heimlich [7].
- **Sensor de Contacto**: Se encarga de validar que el torso sensorizado esté correctamente apoyado sobre el pecho del practicante antes de realizar la maniobra.
- **Acelerómetro**: Se encarga de registrar la inclinación y los movimientos del torso, asegurando que la maniobra se realice con la postura y el ángulo correctos.
- **Sensor Presión YZC-131A**: Los sensores de presión no solo miden la fuerza aplicada durante la maniobra, sino que también validan que la compresión se realice en la zona correcta, específicamente sobre la boca del estómago del torso.
- **Torso de Poliuretano**: Es la estructura física principal del dispositivo, diseñada para simular el cuerpo humano y permitir la práctica segura de la maniobra, integrando los diferentes sensores nombrados anteriormente.

Desde el punto de vista lógico, se tiene una aplicación corriendo sobre el ESP32, la cual maneja la lógica de los sensores y la transferencia de los datos medidos de los mismos a la aplicación móvil.

**Disposición de los sensores en el torso**

En la Figura 2 se muestra la disposición de los sensores y actuadores en el torso de práctica. En la parte frontal se ubican los sensores de fuerza, que permiten registrar la presión ejercida durante la maniobra, así como los indicadores luminosos de estado que brindan retroalimentación inmediata al usuario. En el lateral se integra la placa ESP32, responsable de la adquisición de datos y la comunicación con la aplicación móvil. En la parte posterior se localizan el acelerómetro, encargado de medir la inclinación y los movimientos del torso, y el sensor táctil, que valida el contacto adecuado con el cuerpo del practicante. Esta disposición busca emular de manera realista las condiciones de aplicación de la maniobra de Heimlich, garantizando la captura fiable de datos y la adecuada retroalimentación al usuario.

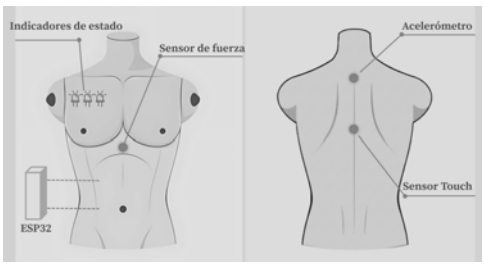



*Figura 3. Disposición de sensores y actuadores en el torso sensorizado.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Heimlich Trainer (Aplicación móvil)**

A continuación, se presenta otro componente fundamental, correspondiente al control de la aplicación móvil *Heimlich Trainer*.

La aplicación, desarrollada con React Native [8], se organiza en tres módulos principales que constituyen el núcleo funcional:

1. **Entrenamiento**: Permite al usuario aprender la maniobra de Heimlich mediante tutoriales interactivos y detallados sobre la técnica y los riesgos asociados.
2. **Simulación**: Está orientada a la ejecución de sesiones cronometradas y la recolección de métricas en tiempo real.
3. **Evaluación**: Integra el análisis automático de sensores y cámara con la validación por parte de un instructor.

**Funcionalidades principales**

Para acceder a las funcionalidades principales los usuarios deben registrarse e iniciar sesión previamente.

***Listado de prácticas***

Los usuarios disponen de un listado central con las sesiones de práctica creadas por ellos mismos y por instructores o compañeros autorizados. El listado es filtrable por autor/instructor, fecha, tipo de sesión (Entrenamiento, Simulación, Evaluación) y resultado, y permite acceder al detalle de cada práctica donde se muestran métricas, gráficos de fuerza vs. tiempo, contador de repeticiones y comentarios del evaluador. Desde esta vista el usuario puede descargar o exportar el resumen de la sesión.

***Grupos de practicantes***

Los usuarios pueden crear y administrar grupos (por ejemplo, clases o turnos) para agrupar practicantes y aplicar criterios homogéneos de evaluación. Un usuario puede pertenecer a múltiples grupos y las sesiones pueden asociarse a uno o varios grupos según corresponda.

***Ejecución de sesiones***

Al seleccionar una sesión o plantilla, la aplicación prepara una versión "compilada" de la misma y establece la comunicación con el torso sensorizado para iniciar la práctica. La ejecución puede lanzarse desde la interfaz táctil o mediante el comando de voz asociado; durante la sesión la aplicación muestra en pantalla la cámara con overlay de detección, indicadores de

***Pausar / Continuar ejecución.***

Durante una sesión en curso el usuario o el instructor puede pausar la captura y el procesamiento en tiempo real (por ejemplo, para reajustar el torso o la cámara) y reanudar la sesión desde el mismo punto sin perder los datos previos. El estado de pausa queda preservado en el historial hasta su reanudación o finalización.

***Reconocimiento de voz (opcional)***

Se incorpora reconocimiento de voz como mecanismo opcional para reducir la interacción manual. Cada sesión puede asociar una palabra clave; cuando el reconocimiento está activo las palabras pronunciadas se comparan con esas claves y, en caso de coincidencia, la aplicación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



inicia la sesión correspondiente o ejecuta comandos de control (iniciar/pausar/continuar).

***Conexión con el torso sensorizado.***

La aplicación gestiona el descubrimiento, emparejamiento y la negociación de parámetros (frecuencia de muestreo, offsets) con el torso mediante canales inalámbricos ( BLE). La UI muestra el estado de la conexión y notifica pérdidas o anomalías de telemetría, ofreciendo reintentos automáticos y opciones de calibración.

***Detección de manos y retroalimentación en tiempo real***

Mediante procesamiento de la cámara, la aplicación estima la posición y orientación de las manos en relación al torso y superpone puntos clave sobre la imagen en vivo. La retroalimentación al usuario combina overlays visuales, mensajes textuales y un panel de telemetría que incluye indicador de fuerza y ritmo, permitiendo correcciones inmediatas durante la práctica.

***Configuración de criterios de evaluación.***

Los instructores pueden definir y aplicar parámetros de evaluación (umbrales de fuerza, tolerancias de posición, ritmo mínimo, número de repeticiones válidas) a nivel individual o por grupo. Estas configuraciones se almacenan y se usan para clasificar repeticiones durante simulaciones y generar reportes consistentes.

***Historial y visualización de prácticas***

Todas las sesiones registradas quedan almacenadas con sus metadatos (timestamp, duración, métricas, evaluador). La vista de historial ofrece filtros y un detalle por sesión que incluye gráficos, lista de repeticiones con su clasificación y la posibilidad de añadir comentarios o anotaciones del instructor.

***Privacidad y consentimiento***

La grabación de video y el almacenamiento de datos sensibles requieren consentimiento explícito del usuario, la aplicación incorpora controles para gestionar la visibilidad, eliminación y exportación de dichos datos, respetando criterios de privacidad y uso académico.

***Accesibilidad y modos de interacción.***

La interfaz prioriza legibilidad y accesibilidad (alto contraste, tamaños legibles) y ofrece modos alternativos de interacción: reproducción de instrucciones por voz y comandos de voz opcionales para control básico de sesiones.

**Inteligencia Artificial**

El sistema Heimlich Trainer incorpora un componente de inteligencia artificial basado en TensorFlow para el aprendizaje automático, MoveNet para la estimación de poses humanas en tiempo real, y NumPy para la gestión de tensores y datos numéricos. El modelo fue entrenado con un conjunto de imágenes clasificadas en categorías como maniobra correcta o posición incorrecta. Estas imágenes fueron procesadas con MoveNet para extraer vectores de características a partir de los puntos clave del cuerpo, que luego se almacenaron como tensores junto con sus respectivas etiquetas.

Durante la ejecución, la aplicación móvil captura imágenes del practicante en tiempo real. Estas se procesan mediante MoveNet para obtener los puntos clave del cuerpo, que son convertidos en tensores y clasificados por el modelo entrenado en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



TensorFlow. De esta forma, el sistema determina si la maniobra fue realizada correctamente, permitiendo una evaluación automatizada y objetiva del desempeño del usuario.

MoveNet fue seleccionado por su mayor precisión y velocidad respecto de otros modelos como OpenPose y PoseNet [4].

**Evaluación**

El módulo de Evaluación está orientado a contextos formales de enseñanza, donde un instructor supervisa y valida la ejecución de la maniobra. Permite configurar parámetros de práctica (frecuencia de lectura, tiempo límite, cantidad de errores), asignar practicantes a evaluaciones específicas y registrar los resultados en forma automática.

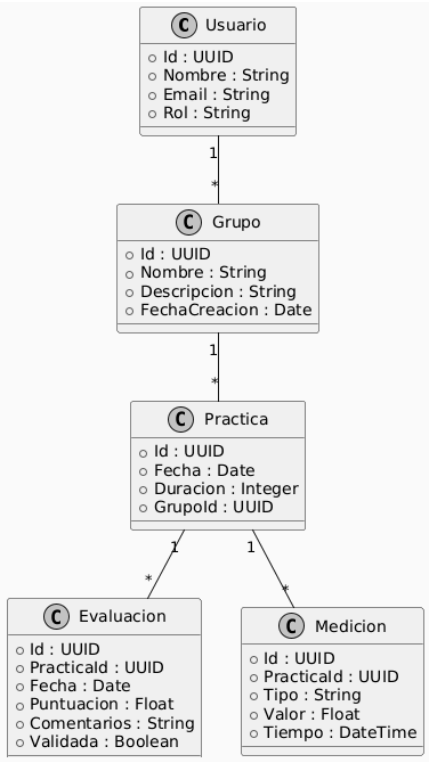



*Figura 4. Diagrama de clases sobre evaluación.*

La evaluación automatizada se realiza de manera secuencial para cada participante, registrando datos en tiempo real del torso sensorizado y generando pausas automáticas entre pruebas. Finalizado el proceso, el instructor puede validar, comentar y emitir reportes con métricas objetivas de desempeño.

La sección de Gestión de grupos facilita la organización de practicantes en conjuntos definidos, permitiendo su administración y seguimiento colectivo dentro del entorno académico.

Cabe destacar que este módulo está orientado a contextos formales de enseñanza. Para usuarios autodidactas, el sistema ofrece los módulos de Simulación y Entrenamiento, donde pueden practicar libremente con el torso sensorizado y acceder a contenido teórico. El módulo de entrenamiento incluye una prueba de posicionamiento de manos al final, que permite verificar la correcta comprensión de los pasos aprendidos.

**Visión arquitectónica**

A continuación, se presenta la arquitectura del sistema, donde se ilustran los principales componentes y la forma en que se conectan entre sí. En el diagrama se observa la interacción entre el torso sensorizado, la aplicación móvil y los servidores de backend, estableciendo el flujo de datos mediante interfaces Bluetooth y servicios web.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



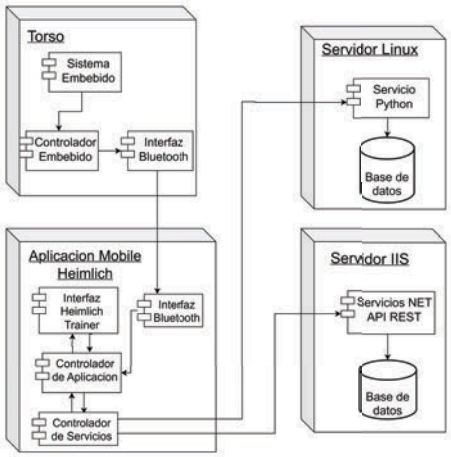



*Figura 5. Diagrama de despliegue + componentes del sistema - vista general del sistema.*

**Mejoras a futuro**

Nuestro plan a futuro es ampliar la gama de muñecos de entrenamiento, incluyendo versiones específicas para bebés e infantes, de modo que la práctica abarque la mayor cantidad de escenarios posibles. También, incorporar algoritmos de inteligencia artificial más avanzados para personalizar el feedback en tiempo real, así como extender la plataforma a múltiples dispositivos y entornos educativos, garantizando que el aprendizaje de la maniobra de Heimlich sea accesible, seguro y eficaz para todas las edades.

**Conclusión**

La maniobra de Heimlich es una técnica simple, segura y altamente efectiva para resolver obstrucciones de la vía aérea por atragantamiento. Su correcta aplicación, especialmente en los primeros segundos del incidente, puede ser determinante para salvar una vida.

El sistema Heimlich Trainer ofrece una solución integral para la enseñanza, práctica y evaluación de esta maniobra, adaptándose tanto a usuarios autodidactas como a contextos académicos y profesionales. A través de sus módulos de entrenamiento, simulación y evaluación, permite adquirir conocimientos teóricos, practicar con sensores en tiempo real y certificar el desempeño de los practicantes.

La formación de personal en entornos de riesgo —como residencias geriátricas, guarderías, restaurantes y centros educativos— es esencial. Heimlich Trainer facilita esta capacitación mediante un enfoque estructurado, automatizado y basado en métricas objetivas.

*Con Heimlich Trainer, practicar puede salvar vidas.*

**Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los profesionales de la salud que nos brindaron su asesoramiento para validar los aspectos médicos del proyecto, así como a las personas que nos acompañaron con sus aportes y sugerencias durante el desarrollo. También extendemos nuestro reconocimiento a nuestros tutores y a todos quienes contribuyeron directa o indirectamente para que este trabajo pudiera llevarse a cabo.

**Datos de Contacto**

Aguirre, Carlos Javier
carloaguirre@alumno.unlam.edu.ar

Callapiña López, Juan Guillermo
jcallapinalopez@alumno.unlam.edu.ar

Céspedes, Leonel Darío
lcespedes@alumno.unlam.edu.ar

**Kuczerawy, Carlos Damián**
ckuczerawy@alumno.unlam.edu.ar

*Universidad Nacional de La Matanza Florencia Varela 1903, San Justo (1754), Buenos Aires Cátedra de Proyecto Final*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias**

[1] Risk factors and prevention of choking.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10811631/pdf/ejtm-33-4-11471.pdf
[2] MANUAL REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR BÁSICA (RCPB) RECOMENDACIONES 2022. (Pascual Valdez, Andrea Díaz, Adolfo Savia, Adriana Pose, Miguel Pedraza).
[3] TensorFlow. MoveNet: modelo de detección de pose ultrarrápido y preciso.
https://www.tensorflow.org/hub/tutorials/movenet.
[4] Comparative Analysis of OpenPose, PoseNet, and MoveNet Models for Pose Estimation in Mobile Devices
https://www.researchgate.net/profile/Seongki-Kim/publication/359476644_Comparative_Analysis_of_OpenPose_PoseNet_and_MoveNet_Models_for_Pose_Estimation_in_Mobile_Devices/links/62416f315e2f8c7a03442451/Comparative-Analysis-of-OpenPose-PoseNet-and-MoveNet-Models-for-Pose-Estimation-in-Mobile-Devices.pdf
[5] TensorFlow Distributions
https://arxiv.org/pdf/1711.10604
[6] Internet of Things Based Home Monitoring and Device Control Using Esp32
https://www.researchgate.net/profile/Ch-Rajendra-Prasad/publication/334226986_Internet_of_Things_Based_Home_Monitoring_and_Device_Control_Using_Esp32/links/5d1de7fe458515c11c0ff074/Internet-of-Things-Based-Home-Monitoring-and-Device-Control-Using-Esp32.pdf
[7] Force Sensing Resistor (FSR): A Brief Overview and the Low Cost Sensor for Active Compliance Control
https://www.researchgate.net/profile/Jamaludin-Jalani/publication/305215221_Force_Sensing_Resistor_FSR_a_brief_overview_and_the_low-cost_sensor_for_active_compliance_control/links/5a38d2b70f7e9b7c487004f1/Force-Sensing-Resistor-FSR-a-brief-overview-and-the-low-cost-sensor-for-active-compliance-control.pdf
[8] React Native application development
https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:998793/FULLTEXT02.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Mendoza Participa: Plataforma Digital para la Participación Ciudadana y la Transparencia Gubernamental

**Resumen**

*Este artículo describe el proyecto desarrollado como Trabajo Final de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, denominado "Mendoza Participa". Se trata de una plataforma digital destinada a fortalecer la participación ciudadana en los asuntos públicos de la provincia de Mendoza, Argentina. El objetivo principal es brindar un canal accesible, transparente y dinámico donde los ciudadanos puedan proponer ideas, expresar opiniones y apoyar iniciativas, promoviendo así el involucramiento activo en la construcción de políticas públicas. La aplicación se desarrolla utilizando tecnologías modernas para frontend, backend y bases de datos, garantizando escalabilidad y eficiencia en el procesamiento de información. Entre sus funcionalidades principales se incluyen la creación y gestión de propuestas, comentarios, apoyos, notificaciones internas y por correo electrónico, así como la integración con servicios de geolocalización. Asimismo, incorpora un módulo de noticias institucionales para facilitar la comunicación con la ciudadanía. Se han considerado criterios de accesibilidad, usabilidad y seguridad desde las etapas iniciales del diseño, con el fin de asegurar una experiencia inclusiva y confiable para todos los usuarios.*

**Abstract**

*This article describes the project developed as the Final Work of the Information Systems Engineering degree, called "Mendoza Participa." It is a digital platform aimed at strengthening citizen participation in public affairs in the province of Mendoza, Argentina. The main objective is to provide an accessible, transparent, and dynamic channel where citizens can propose ideas, express opinions, and support initiatives, thus promoting active involvement in the construction of public policies. The application is developed using modern technologies for frontend, backend, and databases, ensuring scalability and efficiency in information processing. Its main features include the creation and management of proposals, comments, endorsements, internal and email notifications, as well as integration with geolocation services. It also incorporates an institutional news module to facilitate communication with citizens. Accessibility, usability, and security criteria have been considered from the initial design stages to ensure an inclusive and reliable experience for all users.*

**Palabras clave**

Participación ciudadana digital, gobierno abierto, democracia participativa, propuestas ciudadanas, transparencia pública.

**Keywords**

Digital citizen participation, open government, participatory democracy, citizen proposals, public transparency

## 1. Introducción

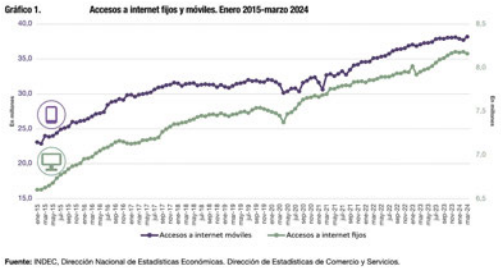



Figura 1. Accesos a internet fijos y móviles (enero 2015 – marzo 2024)

En la provincia de Mendoza, al igual que en el resto del país, la digitalización se ha convertido en un factor clave para la participación ciudadana y la transparencia en la gestión pública. Sin embargo, persisten desafíos vinculados al acceso y uso de las tecnologías de la información. De acuerdo con datos del INDEC, en la Argentina el acceso a internet ha tenido un crecimiento sostenido durante la última década, tanto en conexiones móviles como fijas.

Como se observa en la Figura 1. Accesos a internet fijos y móviles (enero 2015 – marzo 2024), el número de accesos móviles

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



supera los 37 millones, mientras que los accesos fijos se mantienen en torno a los 8 millones. Este dato resulta significativo para proyectos como Mendoza Participa, ya que confirma que la mayor parte de la población se conecta a través de dispositivos móviles. En consecuencia, cualquier plataforma destinada a la participación ciudadana debe priorizar un diseño web responsive, accesible y optimizado para teléfonos celulares. En el caso particular de Mendoza, el desafío no es únicamente tecnológico, sino también social y cultural: aumentar los niveles de participación ciudadana en las decisiones públicas. A pesar de los avances en conectividad, la participación en procesos de consulta y deliberación digital sigue siendo reducida. Mendoza Participa busca aportar una solución a esta problemática, facilitando un canal digital inclusivo, seguro y accesible que incentive a los ciudadanos a involucrarse en el debate y construcción de políticas públicas.

La presente investigación tiene como propósito documentar el diseño e implementación de esta plataforma, analizar sus fundamentos metodológicos, describir la arquitectura técnica empleada y evaluar los resultados preliminares obtenidos.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Relevamiento de antecedentes

Se llevó a cabo un estudio comparativo de plataformas digitales de participación ciudadana a nivel internacional. Las plataformas Decide Madrid [1], Decidim Barcelona [2], Participa León [3] y Unser München [4] fueron analizadas en detalle, considerando sus funcionalidades, arquitectura tecnológica, fortalezas y debilidades.

Este análisis permitió identificar las principales necesidades no cubiertas, tales como la baja visibilidad de propuestas ciudadanas, la falta de retroalimentación sobre las decisiones gubernamentales y las limitaciones en accesibilidad para ciertos sectores sociales.

### 2.2. Metodología de desarrollo

Se utilizó una combinación de metodologías tradicionales y ágiles. En las fases iniciales se siguió un enfoque estructurado para la planificación, relevamiento y diseño del sistema. Posteriormente, durante la fase de implementación, se aplicó la metodología Scrum [10] con iteraciones de desarrollo quincenales.

#### 2.2.1 Módulos del sistema

La plataforma *Mendoza Participa* se estructura en módulos independientes y cohesivos, diseñados para facilitar la participación ciudadana y la gestión administrativa de manera segura, accesible y escalable:

**Módulo de Propuestas**

Permite a los ciudadanos crear, editar y eliminar propuestas vinculadas a problemáticas o mejoras en su comunidad. Como puede observarse en la *Figura 2. Pantalla de propuestas ciudadanas*, incluye funcionalidades de búsqueda, filtrado, votación, comentarios y seguimiento del estado de cada propuesta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



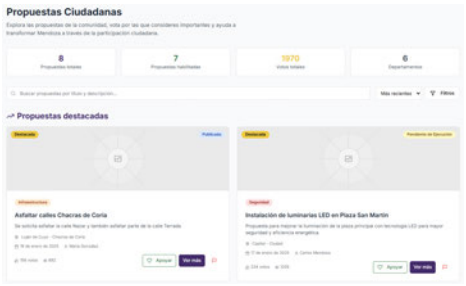



Figura 2: Pantalla de propuestas ciudadanas

**Módulo de Noticias**

Publica actualizaciones institucionales, novedades sobre la plataforma y eventos relevantes gubernamentales. Tal como se observa en la *Figura 3. Pantalla de noticias*, las noticias son accesibles públicamente y se organizan mediante categorías y filtros.

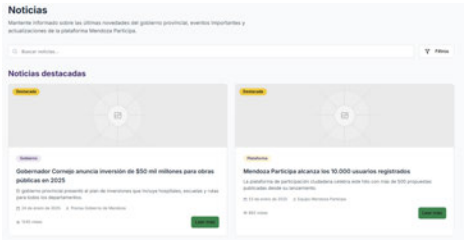



Figura 3: Pantalla de noticias

**Módulo de Perfil de Usuario**

En la *Figura 4. Pantalla de perfil de usuario,* se observa cómo este módulo centraliza la información del ciudadano, permitiendo editar datos personales, configurar notificaciones, cambiar contraseña y visualizar la actividad participativa.

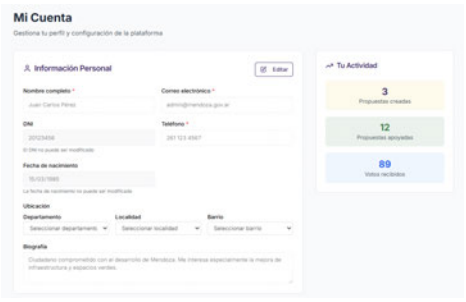



Figura 4: Pantalla de perfil de usuario

**Módulo de Notificaciones**

Gestiona alertas sobre interacciones relevantes del usuario (comentarios, apoyos, cambios de estado y moderaciones), mostradas en la aplicación y, opcionalmente, por correo electrónico. En la *Figura 5. Pantalla de notificaciones* se observa cómo seleccionar las preferencias.




Figura 5: Pantalla de notificaciones

**Módulo de Autenticación y Recuperación de Cuenta**

Tal como se observa en la *Figura 6. Pantalla de seguridad* de la cuenta, este módulo asegura el acceso a la plataforma mediante login seguro y permite recuperar la cuenta a través del correo electrónico.

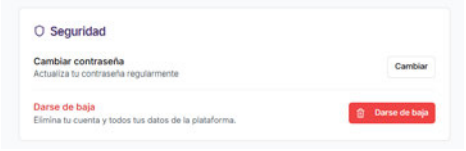



Figura 6: Pantalla de seguridad de la cuenta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Panel de Administración (Backoffice)**
Como puede observarse en la *Figura 7. Pantalla del panel general de Backoffice*, este módulo agrupa herramientas de gestión para usuarios administradores.

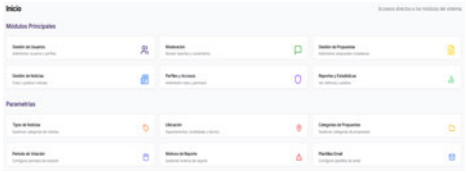


Figura 7: Pantalla del panel general de Backoffice

**Gestión de Usuarios**: administración de ciudadanos y operadores del sistema, asignación de perfiles, entre otras opciones. En la *Figura 8. Pantalla de gestión de usuarios*, se muestra cómo administrar los distintos tipos de usuarios.

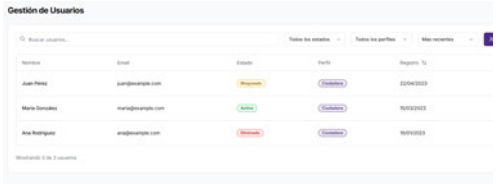


Figura 8: Pantalla de gestión de usuarios

**Gestión de Propuestas**: en la *Figura 9. Pantalla de gestión de propuestas* se observa el seguimiento del ciclo de vida de propuestas, evaluación administrativa, cambios de estados y eliminación de las mismas.

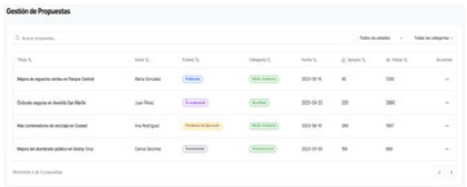


Figura 9: Pantalla de gestión de propuestas

**Gestión de Noticias** : En la *Figura 10 Pantalla de gestión de noticias,* se muestra la publicación, edición y control de noticias dentro de la plataforma.

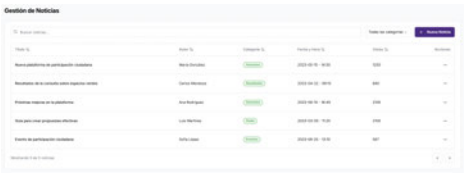


Figura 10: Pantalla de gestión de noticias

**Perfiles y Accesos** : En la *Figura 11 Pantalla de perfiles y accesos,* se observa la administración granular de permisos de acciones a los distintos módulos del sistema, mediante perfiles configurables.

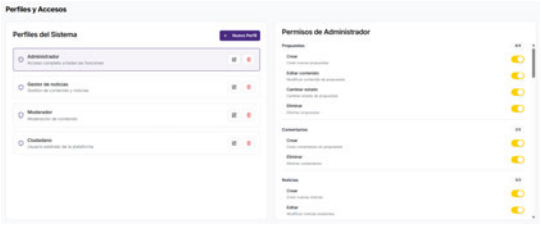


Figura 11: Pantalla de perfiles y accesos

**Módulo de Reportes y Estadísticas:** la *Figura 12. Pantalla de reportes y estadísticas,* proporciona métricas sobre la actividad de la plataforma: propuestas más apoyadas, distribución por categorías, evolución temporal de participación y volumen de interacciones, entre otras.

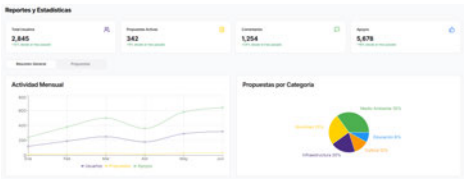


Figura 12: Pantalla de Reportes y Estadísticas

**Módulo de Parametría**
En la *Figura 13. Pantalla de parametría* se observa cómo este módulo permite configurar elementos estructurales como tipos de noticias, categorías de propuestas, períodos de votación, motivos de informe y plantillas de correo electrónico.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



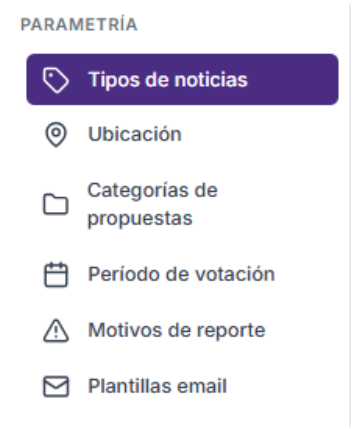



Figura 13: Pantalla de Parametría

**Módulo de Backup y Recuperación de Datos**

Facilita el respaldo de la base de datos y archivos de usuario. El diseño del sistema permite la integración con herramientas estándar para garantizar seguridad y trazabilidad.

### 2.3. Tecnologías utilizadas

Backend: .NET 8 utilizando C# y Entity Framework como ORM [5].
HTML5 [6],
React JS [7]
Tailwind CSS [8].
Base de datos: SQL Server [9].
Versionado: Git [10].
Modelado de Datos UML: Enterprise Architect [11].
Github, como plataforma de almacenamiento de código en repositorios en la nube [12].
Visual Studio Code [13] y Visual Studio [14], como editor de código fuente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 2.4. Diagrama de Casos de Uso (Reducido)

En la *figura 14. Modelo de Casos de Uso,* se representa de manera esquemática la interacción principal entre los actores y el sistema.

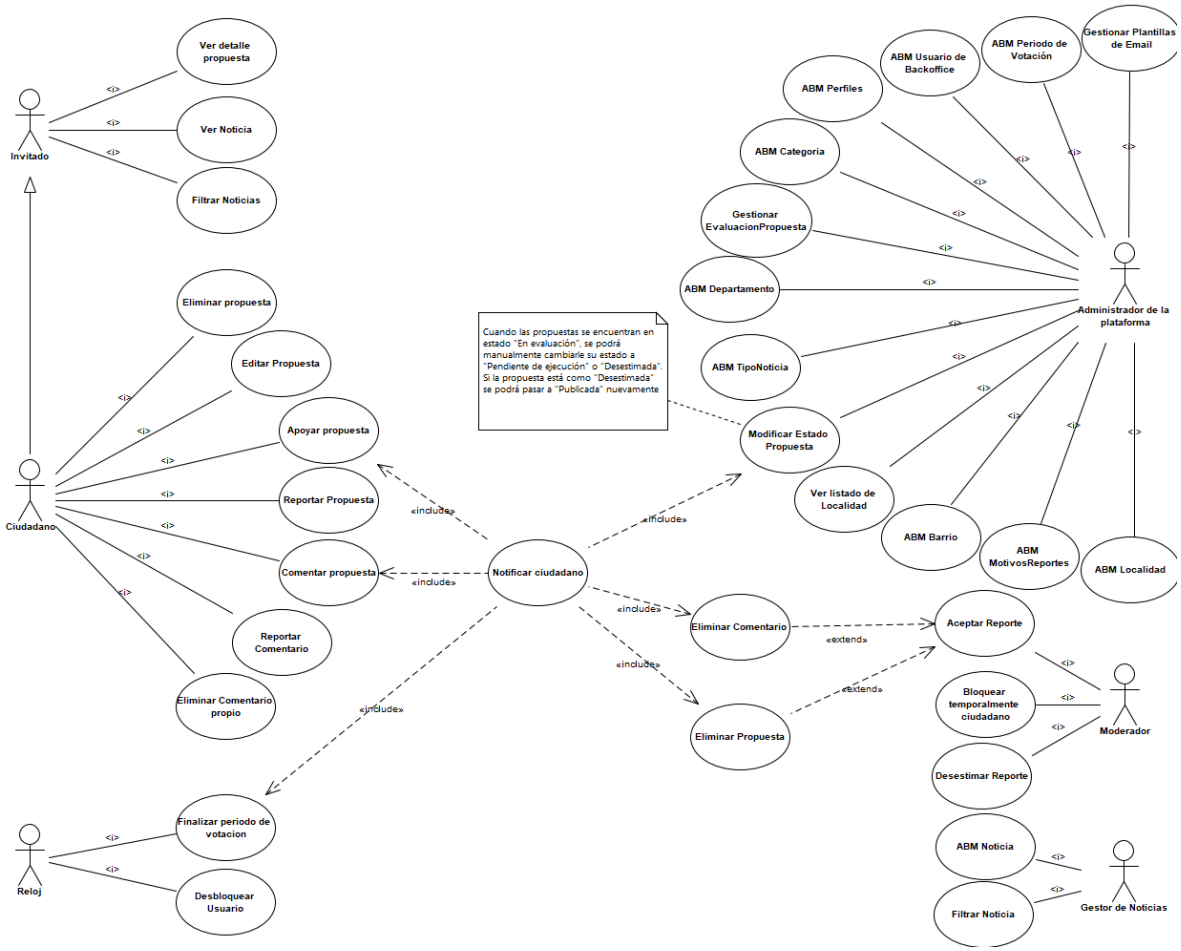



Figura 14: Modelo de Casos de Uso

### 2.5. Modelo de datos (Reducido)

La *figura 15. Modelo de Datos* muestra las entidades principales y sus relaciones, adaptadas a un esquema simplificado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



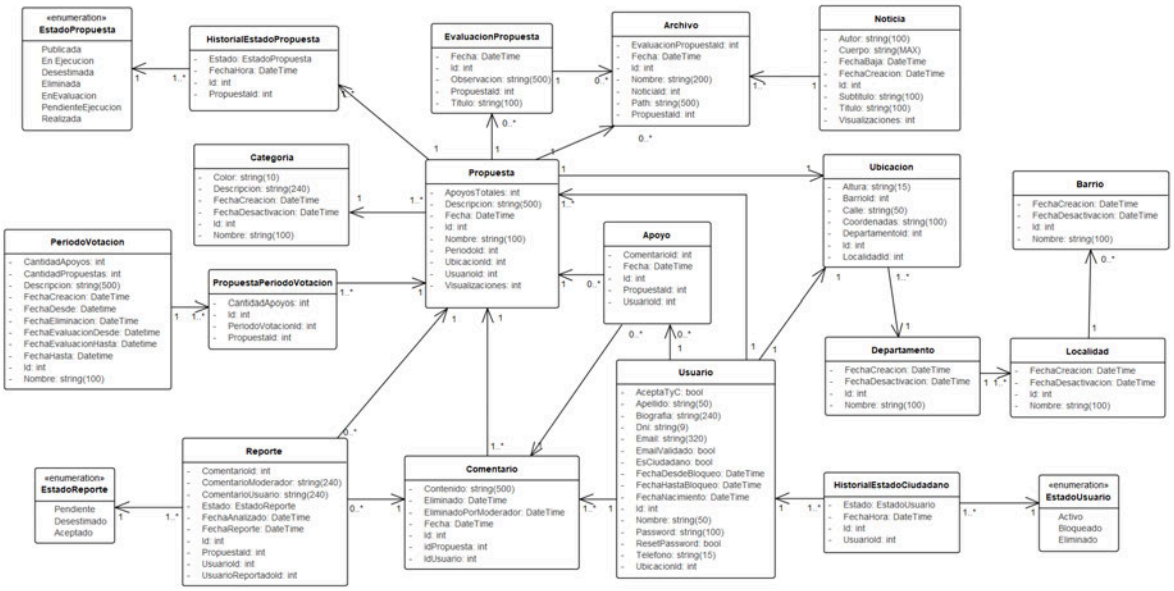



Figura 15: Modelo de datos

**2.6. Diagrama de transición de estados de entidad "Propuesta".**

La *figura 16. Diagrama de Transición de Estados* refleja los distintos estados que puede atravesar una propuesta desde su creación hasta su resolución final.

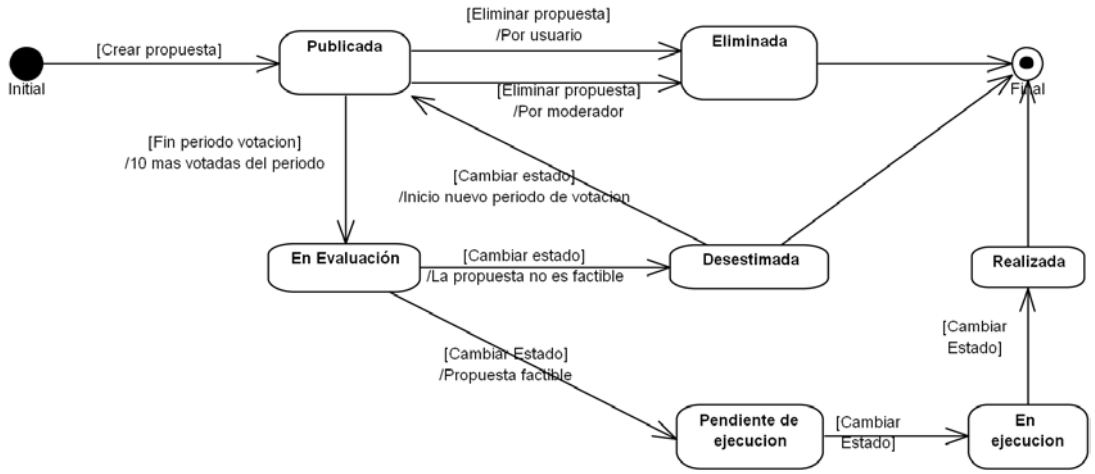



Figura 16: Diagrama de Transición de Estados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Diagrama de infraestructura de Mendoza Participa**

La *figura 17. Diagrama de infraestructura de Mendoza Participa* detalla los componentes tecnológicos empleados, su distribución y las conexiones entre ellos.

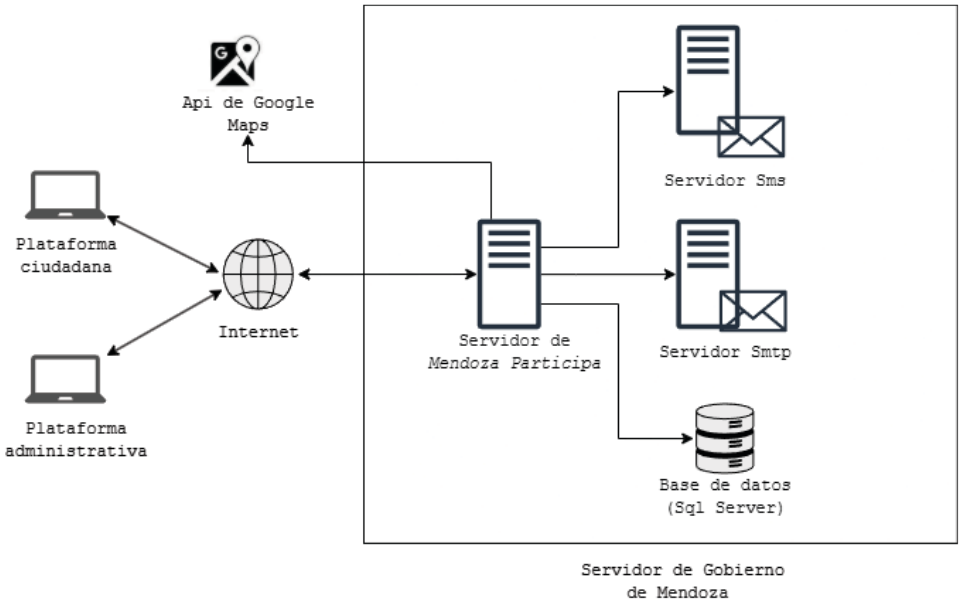



Figura 17: Diagrama de infraestructura de Mendoza Participa

## 3. Resultados

Los resultados obtenidos al finalizar el proyecto Mendoza Participa fueron altamente positivos. Siguiendo la metodología establecida, se desarrolló una plataforma digital que fortaleció los mecanismos de participación ciudadana, permitiendo a los ciudadanos mayores de 16 años expresar propuestas, debatir ideas y colaborar activamente en el diseño de políticas públicas.

A través de una interfaz intuitiva, herramientas de votación transparentes y funcionalidades que fomentaron el intercambio respetuoso y el seguimiento del estado de las iniciativas, Mendoza Participa se consolidó como una solución innovadora y efectiva para acercar el gobierno a la ciudadanía. La integración de un panel administrativo robusto y módulos de gestión permitió además garantizar la trazabilidad de las decisiones, la moderación del contenido y el análisis continuo de la participación.

## 4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian el potencial de Mendoza Participa como herramienta de transformación digital en la gestión pública. A diferencia de otras plataformas analizadas, la propuesta mendocina pone énfasis en la integración territorial, la simplicidad de uso y la retroalimentación continua con los usuarios.

Se destacan como principales ventajas:

- La visibilidad inmediata de las propuestas a través de sistemas de recomendación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- La integración con bases de datos oficiales para verificar identidad y evitar fraudes.
- El diseño modular que permite futuras ampliaciones (presupuestos participativos, asambleas híbridas, etc.).

No obstante, se identifican desafíos pendientes como la promoción efectiva en barrios con menor conectividad, el fortalecimiento de los mecanismos de moderación de debates, y la construcción de indicadores que midan el impacto real de la participación ciudadana en las decisiones gubernamentales.

## 5. Conclusiones

En conclusión, Mendoza Participa representa un avance significativo en la modernización de los mecanismos de participación ciudadana en la provincia. El desarrollo de una plataforma web responsive, accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet, asegura un mayor alcance y equidad en el acceso a la información pública y a los procesos participativos.

Desde el punto de vista tecnológico, se emplearon herramientas modernas como .NET Core [6] para el backend, React [5] para la construcción de interfaces dinámicas e intuitivas y SQL Server [7] como sistema gestor de bases de datos, lo que garantiza un manejo eficiente y seguro de grandes volúmenes de información. Además, la definición de módulos específicos —gestión de usuarios, propuestas, noticias, reportes, moderación y seguridad— permite una arquitectura organizada y adaptable a las necesidades futuras del sistema.

El proyecto también se destacó en la gestión del desarrollo, donde se aplicaron metodologías ágiles como Scrum [15], utilizando Trello [16] para la planificación y seguimiento de tareas. Esto facilitó la coordinación del equipo y la entrega de resultados de manera iterativa e incremental, permitiendo una validación temprana a través de pruebas con usuarios testers.

En conjunto, estas decisiones técnicas y organizativas no solo aseguran la viabilidad del proyecto, sino que también sientan las bases para su escalabilidad, mantenibilidad y sostenibilidad en el tiempo, constituyendo un aporte real al fortalecimiento de la democracia participativa en Mendoza.

**Agradecimientos**

Agradecemos el acompañamiento de los docentes de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, así como el apoyo brindado por el equipo de vinculación tecnológica del Municipio de Mendoza.

**Referencias**

1. Decide Madrid. (s.f.). *Plataforma de participación*. Recuperado el 7 de agosto de 2025, de https://decide.madrid.es
2. Decidim Barcelona. (s.f.). *Plataforma digital participativa*. Recuperado el 7 de agosto de 2025, de https://www.decidim.barcelona
3. Participa León. (s.f.). *Participación ciudadana del Ayuntamiento de León*. Recuperado el 7 de agosto de 2025, de https://www.participa.leon.gob.mx
4. Unser München. (s.f.). Recuperado el 7 de agosto de 2025, de https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtpolitik/Unser-Muenchen.html
5. .NET8. https://dotnet.microsoft.com/es-es/
6. HTML5 https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML
7. React JS https://react.dev/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



8. Tailwind CSS. https://tailwindcss.com/
9. SQL Server https://www.microsoft.com/es-es/sql-server/sql-server-downloads
10. Versionado: Git https://git-scm.com/
11. Modelado de Datos UML: Enterprise Architect https://sparxsystems.com/.
12. Github https://github.com/.
13. Visual Studio https://code.visualstudio.com/
14. Visual Studio Code https://visualstudio.microsoft.com/es/
15. Scrum https://scrumguides.org/
16. Trello https://trello.com/es

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sabelotín: Plataforma móvil para el fortalecimiento de la alfabetización inicial mediante actividades interactivas y reconocimiento de voz

**Baez, Matias Nahuel**
**Couzo Wetzel, Eduardo Alberto**
**Guerrera, Mara Verónica**
**Sandoval Vasquez, Juan Leandro**
**Villegas, Lucas Ezequiel**
**Vivas, Pablo Ezequiel**
***Universidad Nacional de La Matanza, Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas***

**Abstract**
*Sabelotín es una aplicación móvil educativa diseñada para fortalecer la alfabetización inicial en niños de primer ciclo de educación primaria (1° y 2° grado). Combina actividades lúdicas —como juegos fonéticos, ejercicios de trazado, desafíos interactivos y lecturas guiadas— con instancias de retroalimentación inmediata, promoviendo un aprendizaje autónomo, motivador y significativo. El proyecto se desarrolla siguiendo los lineamientos del Project Management Institute (PMI), con la participación activa de docentes, tutores y directivos, asegurando pertinencia pedagógica y sostenibilidad. La aplicación se concibe como una herramienta complementaria al trabajo docente, con un componente de seguimiento que involucra a familias y escuelas. Se priorizó la construcción de un producto mínimo viable (MVP) para Android, considerando la amplia disponibilidad de estos dispositivos en contextos escolares. La propuesta busca reducir brechas educativas y tecnológicas, incrementar el involucramiento familiar y favorecer la personalización del aprendizaje.*

**Palabras Clave**
Alfabetización inicial; Educación primaria; Aplicación educativa; Gamificación; Reconocimiento de voz; Aprendizaje personalizado; Retroalimentación inmediata.

## Introducción

La alfabetización inicial es un hito determinante del desarrollo académico y social. En Argentina, informes oficiales de las pruebas Aprender Alfabetización 2024 revelan que una proporción significativa de estudiantes de primer ciclo no alcanzan niveles adecuados de fluidez lectora, lo cual limita el desempeño escolar y la integración plena en el entorno educativo [1].

En particular, los informes reportan que el acompañamiento familiar en las tareas escolares es elevado (78,1%) y que 83% de los estudiantes de 3.º grado accede a un celular (propio o de los padres). Aun así, solo 50% declara leer en su tiempo libre, mientras 79,1% mira videos cortos en redes sociales [1]. Estos datos sugieren oportunidades para materiales interactivos que vinculen prácticas de lectura con formatos y dispositivos ya presentes en el hogar.

*Tabla 1. Indicadores del entorno alfabetizador (Aprender 2024) [1]*

| Indicador | Valor |
|---|---|
| Acompañamiento familiar en tareas escolares | 78,1% |
| Lectura mediada por padres | 36,8% |
| Estudiantes que leen en su tiempo libre | 50,0% |
| Estudiantes que ven videos cortos en redes | 79,1% |
| Acceso a celular (propio o de los padres) | 83,0% |
| Aulas con biblioteca (gestión estatal) | 76,2% |
| Aulas con biblioteca (gestión privada) | 65,7% |
| Docentes que reportan uso de libros en el aula (estatal/privada) | 74,3% / 55,9% |

En este contexto, Sabelotín se plantea como un recurso complementario al trabajo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



docente, con actividades lúdicas, retroalimentación inmediata en tareas seleccionadas y paneles de seguimiento para familias y escuelas. El objetivo es favorecer trayectorias lectoras personalizadas y acompañadas, alineadas con iniciativas nacionales de fomento de la lectura [2].

Este artículo presenta los fundamentos pedagógicos de la propuesta, su diseño funcional, consideraciones de implementación y proyecciones.

**Fundamentos pedagógicos**

El diseño de Sabelotín se apoya en enfoques que priorizan:

- Aprendizaje lúdico: la motivación surge de dinámicas de juego y metas claras.
- Retroalimentación inmediata: corrección y refuerzo oportunos, especialmente en tareas de lectura guiada y pronunciación, lo cual permite consolidar habilidades en etapas tempranas.
- Personalización del aprendizaje: progresión graduada según nivel lector y ritmo de cada niño.
- Participación de docentes y familias: paneles de seguimiento y herramientas de acompañamiento que facilitan decisiones pedagógicas y hábitos en el hogar.

Estos principios se articulan con lineamientos de políticas nacionales de fomento de la lectura, como el Plan Nacional de Lecturas [2].

La retroalimentación inmediata constituye un eje central del enfoque pedagógico adoptado. Cada actividad incorpora respuestas automáticas diseñadas para reforzar positivamente los aciertos y orientar al niño en caso de error. Por ejemplo, ante una pronunciación correcta o una lectura fluida, la aplicación ofrece mensajes motivadores como "¡Excelente trabajo! ¡Seguí así!" o "¡Muy bien! Cada vez lo hacés mejor". En cambio, cuando se detectan errores fonéticos o respuestas incompletas, se emiten mensajes adaptativos como "Revisá y volvé a intentarlo" o "No salió esta vez, ¡probá de nuevo!". Estos mensajes están gestionados por un componente lógico que asocia cada tipo de respuesta a un identificador interno, permitiendo registrar estadísticas de desempeño y ajustar la dificultad según el progreso del alumno.




Figura 1

**Diseño instruccional y criterios de contenido**

La selección y diseño de actividades se basó en criterios pedagógicos que priorizan la progresión gradual, la diversidad de estímulos y la adecuación al nivel lector.

Cada módulo fue concebido para desarrollar habilidades específicas (Tabla 2):

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Tabla 2. Módulos funcionales y objetivos pedagógicos*

| Módulo | Objetivo pedagógico principal |
|---|---|
| Narrativas interactivas | Comprensión lectora, inferencia, vocabulario contextual |
| Juegos fonéticos | Conciencia fonológica, asociación sonido-letra |
| Trazado de letras | Motricidad fina, reconocimiento de grafemas |
| Desafíos diarios | Automatización de lectura, práctica sostenida |
| Lecturas guiadas | Fluidez lectora, pronunciación, seguimiento auditivo |

Los contenidos fueron diseñados en colaboración con docentes de primer ciclo, considerando la diversidad de niveles dentro del aula y la necesidad de materiales que puedan adaptarse a distintos ritmos de aprendizaje.

**Metodología de desarrollo**

El proyecto se estructuró siguiendo los lineamientos del Project Management Institute (PMI), con una planificación basada en entregables, cronogramas y gestión de riesgos. La Work Breakdown Structure (WBS) definió las fases de inicio, análisis, construcción e implementación, permitiendo asignar tareas y responsables de forma clara.

Se priorizó la construcción de un Producto Mínimo Viable (MVP) orientado a dispositivos Android, dado que tienen una mayor presencia en la vida cotidiana de los alumnos. Se puso el foco en la usabilidad infantil, la escalabilidad del sistema y la seguridad en el manejo de datos personales.

El modelo de negocio adoptado es freemium, permitiendo acceso gratuito a funcionalidades básicas y ofreciendo contenidos adicionales mediante suscripción.

**Arquitectura técnica**

Sabelotín se implementa como una aplicación móvil nativa para Android, desarrollada en un entorno que facilita integración con:

- Servicios de reconocimiento de voz para actividades de lectura,
- Motores gráficos para dinámicas interactivas,
- Bases de datos locales y en la nube para almacenar progresos,
- Backend escalable para reportes y administración.

Los perfiles de usuario definidos incluyen (Tabla 3):

*Tabla 3. Perfiles de usuario en Sabelotín*

| Perfil | Funciones principales |
|---|---|
| Alumno | Acceso a actividades interactivas, juegos fonéticos, ejercicios de trazado, lecturas guiadas, registro de progresos. |
| Docente | Creación y asignación de actividades, seguimiento del desempeño de estudiantes, panel de estadísticas grupales e individuales. |
| Tutor | Visualización del progreso del niño, acceso a recomendaciones de apoyo en el hogar, notificaciones personalizadas. |
| Directivo | Accede a reportes globales y gestiona cuentas institucionales. |
| Administrador | Gestiona usuarios, mantenimiento de contenidos y supervisión general de la plataforma. |

**Lógica de progresión**

Cada actividad registra métricas como tiempo de resolución, número de intentos y precisión, que se almacenan en la base de datos y alimentan los paneles de seguimiento.

El sistema contempla reglas de desbloqueo progresivo, donde el acceso a nuevos contenidos depende del cumplimiento de objetivos previos. Esta lógica busca fomentar la autonomía y la motivación, evitando la frustración por tareas demasiado complejas.

**Seguridad y autenticación**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La autenticación de usuarios se implementa mediante tokens JWT, con control de acceso por roles y validación de sesiones. Se definieron políticas de expiración, renovación y revocación de credenciales, contemplando escenarios de uso compartido de dispositivos. La gestión de usuarios incluye trazabilidad de acciones, encriptación de contraseñas y validación de datos sensibles.
Además, se incorporaron mecanismos de protección contra accesos indebidos, como verificación de identidad por correo electrónico y control de intentos fallidos. Estas medidas buscan garantizar la integridad de la información y la privacidad de los usuarios, en especial de los menores.

**Componentes funcionales**
La aplicación incluye los siguientes módulos principales:

- Narrativas interactivas: cuentos con audio, imágenes y preguntas de comprensión.
- Juegos fonéticos: actividades de asociación sonido-letra, rimas y sílabas.
- Trazado de letras: ejercicios con guías visuales y validación por reconocimiento de forma.
- Desafíos diarios: tareas breves que combinan lectura, escritura y pronunciación.
- Paneles de seguimiento: reportes para tutores y docentes sobre el progreso del alumno.

El diseño UX/UI se centró en la simplicidad visual, la navegación intuitiva y la accesibilidad cognitiva. Se utilizaron colores contrastantes, botones grandes, instrucciones por voz y animaciones suaves para facilitar la interacción.

Las pantallas fueron prototipadas y validadas con docentes mediante sesiones de revisión colaborativa, garantizando pertinencia pedagógica y facilidad de uso en contextos reales.

Además, se desarrollaron módulos auxiliares para gestión de notificaciones, recuperación de credenciales y administración de contenidos.

**Diseño de interfaz y experiencia de usuario**

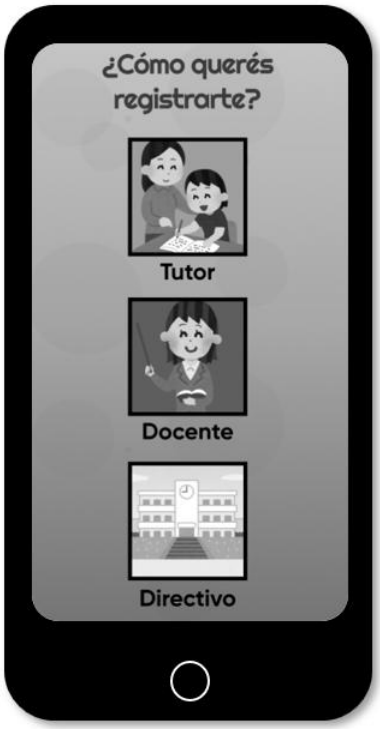



Figura 2

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Trabajos Relacionados**

Existen diversas aplicaciones que abordan la alfabetización inicial. Leo con Grin [3] se centra en el reconocimiento de letras y fonemas mediante juegos cortos; Primero Lee ofrece cuentos y ejercicios interactivos en castellano; Khan Academy Kids [4] expande la propuesta de Khan Academy con actividades de lectoescritura en inglés. Asimismo, existen propuestas en línea que recopilan juegos educativos para ejecutar en la computadora, útiles como complemento en el aula o el hogar. [5]. Sin embargo, muchas aplicaciones internacionales (ej. World of Peppa Pig) no están adaptadas a contextos latinoamericanos.

Sabelotín se diferencia al integrar personalización de contenidos, participación activa de docentes/tutores y retroalimentación inmediata con tecnologías accesibles en dispositivos móviles, en un contexto local donde los celulares están ampliamente presentes. Además, se apoya en estrategias de gamificación [6], lo que favorece la motivación y el compromiso de los estudiantes con el aprendizaje.

Como líneas futuras se plantea:

i) Ampliar la cobertura a dispositivos iOS y entornos de escritorio;
ii) Incorporar analíticas de aprendizaje para adaptar automáticamente el nivel de dificultad;
iii) Expandir el repertorio de actividades con contenidos elaborados por expertos en didáctica;
iv) Profundizar estrategias de gamificación para motivar la práctica sostenida;
v) Realizar estudios de campo comparativos para medir mejoras en fluidez lectora respecto a métodos tradicionales.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Sabelotín surge como una propuesta innovadora que combina enfoques pedagógicos, recursos tecnológicos y gestión de proyectos para responder a los desafíos de la alfabetización inicial en Argentina. La aplicación busca consolidar aprendizajes de lectura y escritura mediante experiencias lúdicas y retroalimentación inmediata, integrando activamente a familias y docentes.

Con un diseño escalable y adaptable a diversos contextos escolares, Sabelotín sienta las bases para una plataforma sostenible y con impacto social significativo, contribuyendo a la reducción de brechas educativas y a la promoción de trayectorias escolares más sólidas.

No obstante, el proyecto presenta limitaciones: falta validar su impacto en estudios longitudinales, existe dependencia de conectividad estable y el reconocimiento de voz requiere optimización para ambientes ruidosos.

**Referencias**

1] Secretaría de Educación (Argentina). Aprender Alfabetización 2024 - Síntesis de resultados. 2024. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sientesis_aprender_2024_alfabetizacioen.pdf

[2] Ministerio de Educación de la Nación Argentina. Plan Nacional de Lecturas. Buenos Aires, 2023.

[3] Ministerio de Educación de la Nación Argentina. Leo con Grin. Disponible en: https://www.educ.ar/

[4] Khan Academy. Khan Academy Kids. Disponible en: https://learn.khanacademy.org/khan-academy-kids/

[5] Centro de Psicopedagogía. Juegos educativos para ordenador. Disponible en: https://www.centrocp.com/juegos-educativos-para-ordenador/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[6] Educativa. Gamificación: el aprendizaje divertido. Disponible en: https://www.educativa.com/blog-articulos/gamificacion-el-aprendizaje-divertido/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Ferminator

**Apellido/s, Nombre/s**
**Menendez, Santiago Ezequiel**
**D'Ercole, Lautaro Carlos**
**Ramos, Alan Gonzalo**
**Pompeo, Nicolas Ruben**
**Meza, Julian Omar**

***Universidad Nacional de La Matanza, Proyecto Final de Carrera***

**Abstract**
*La creciente demanda de alimentos naturales y el interés por reducir la dependencia de productos ultra procesados motivan el desarrollo de nuevas herramientas para la fermentación doméstica. En este trabajo presentamos* ***FERMINATOR****, un sistema integrado que automatiza la producción de fermentos a pequeña escala. El dispositivo combina sensores de pH, temperatura y densidad con actuadores de calefacción/enfriamiento y un módulo de detección de eventos críticos, mientras que la plataforma de software asociada (MQTT, API REST y base de datos) permite gestionar recetas, monitorear parámetros en tiempo real y reanudar procesos interrumpidos por cortes de energía. El diseño modular del hardware y la arquitectura distribuida del software facilitan la adaptabilidad y la incorporación de nuevas funciones. Se propone un protocolo de evaluación para validar estabilidad térmica, precisión sensorial y resiliencia del sistema. FERMINATOR busca aportar una alternativa accesible, segura y reproducible para el consumo hogareño y artesanal de alimentos fermentados.*

**Palabras Clave**
fermentación, IoT (Internet of Things), control automático, pH, reanudación ante corte, receta digital

## Introducción

La producción y consumo de alimentos fermentados domésticos ha crecido por razones de salud, sabor y economía. Sin embargo, el aumento del consumo de productos ultra procesados ha desplazado prácticas artesanales y ha introducido aditivos que alteran el proceso natural. FERMINATOR nace para abordar la necesidad de un sistema accesible que permita reproducir fermentos caseros con control automatizado, trazabilidad y resiliencia frente a incidentes (por ejemplo, cortes eléctricos). El objetivo de este trabajo es presentar el diseño del sistema, su implementación prototípica (figura 1) y un plan experimental para validar su desempeño.

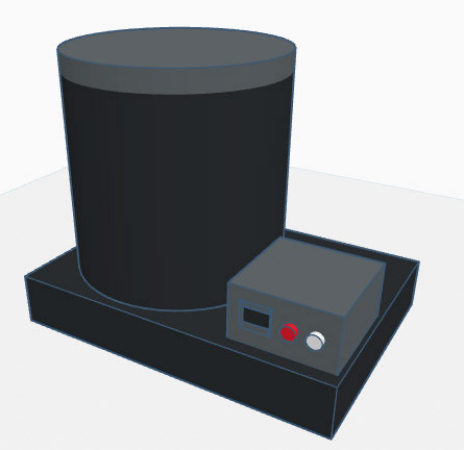


**Figura 1 – Prototipo de Ferminator**

## Diseño del sistema

FERMINATOR está concebido como un sistema modular con cuatro capas: (i) hardware de control y adquisición, (ii) firmware local encargado de lectura y actuación, (iii) protocolo de mensajería y backend para almacenamiento y lógica, y (iv) cliente web/Mobile para gestión de recetas y monitoreo. La arquitectura (figura 2) permite desacoplar la adquisición y el control mediante protocolo MQTT, y facilita la escalabilidad y la integración de nuevos sensores o actuadores.

**Componentes principales (resumen)**

- **Controlador:** Raspberry Pi / Microcontrolador ESP32 (lectura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sensores, actuadores, comunicación MQTT)

- **Sensores:** pH (PH-4502C o similar) [9], temperatura (DS18B20 o similar) [2], sensor de ultrasonido (HC-SR04 o similar) [3] y celda de carga de 20kg para medición de densidad con controlador HX711 [1].
- **Actuadores:** placas peltier (TEC1 – 12715 [11]), puente H (BTS7960 [10]), bombas/relés y válvulas.
- **Comunicación:** protocolo MQTT para comunicación firmware-servidor y telemetría; REST API para cliente
- **Software:** Backend (FastAPI), BD (PostgreSQL), Aplicacion web responsive (Angular).
- **Interfaz:** Web y mobile con gestión de recetas y alertas.

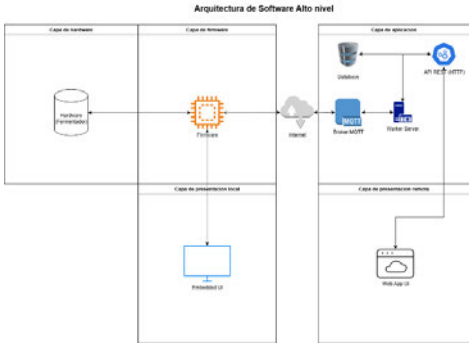



**Figura 2 – Arquitectura alto nivel**

## Implementación

El prototipo implementado integra una Raspberry Pi 5 que actúa como puente entre el firmware y servidor local utilizando el protocolo MQTT, módulos de adquisición analógica para el sensor de pH, sensor digital de temperatura y un medidor de densidad con un sensor de ultrasonido y una celda de carga para medir la masa. El firmware, desarrollado en Python, publica lecturas periódicas de cada sensor y realiza comandos de control (ajustes para control de temperatura, bombas y válvulas) recibidos vía topics MQTT (figura 3).

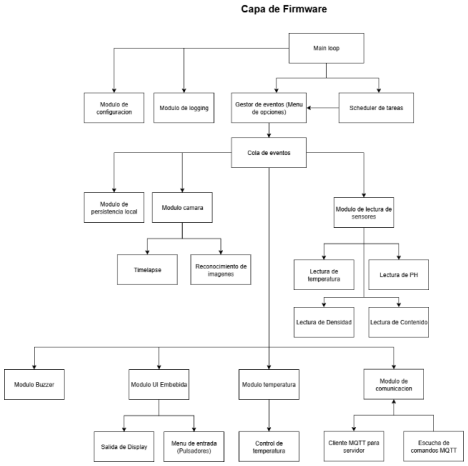



**Figura 3 – Capa de firmware**

Las mismas lecturas y estados pueden ser consultadas en el mismo firmware a traves de un display para una lectura en tiempo real, permitiendo ver el estado de un fermento (figura 4), su temperatura, peso, densidad, ph, alertas recientes e incluso configurar una red de internet para comunicarse con el backend central a través del protocolo MQTT.




**Figura 4 – Estado del fermento**

El backend central almacena las lecturas realizadas y gestiona recetas y reglas de control además de gestionar los usuarios. El mismo esta desarrollado en Python usando protocolo API Rest con Fast API, base de datos y el protocolo MQTT para la comunicación con el firmware (figura 5).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



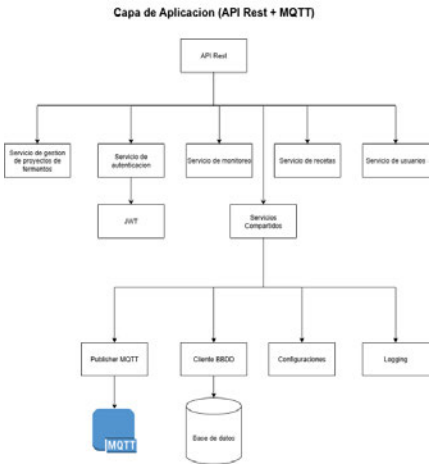



**Figura 5 – Capa de aplicación**

La aplicación cliente esta desarrollado en Angular como una aplicación web responsive que permite utilizarse desde cualquier dispositivo con conexión a internet. Permite crear recetas (parámetros objetivo de pH, temperatura y duración), iniciar proyectos y recibir alertas (por ejemplo, desviación de parámetros, tapa abierta, pérdida de conexión) (figura 6).

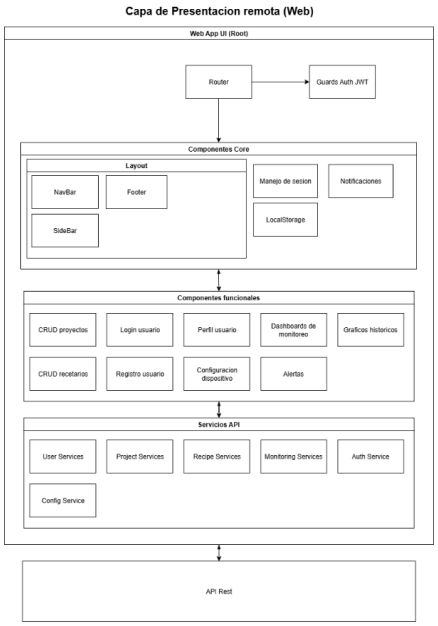



**Figura 6 – Capa de presentación web**

**Experimentos y evaluación (protocolo propuesto)**

Aunque el prototipo inicial es funcional, el informe original carece de una evaluación cuantitativa exhaustiva. Por ello proponemos un protocolo replicable para validar el sistema:

1) **Estabilidad térmica:** registrar temperatura interior cada 1 min durante 72 h con y sin control activado; medir desviación estándar y máximos.

2) **Precisión del pH:** comparar lecturas del electrodo frente a referencia de laboratorio (pH-metro calibrado) en 10 muestras distribuidas.

3**) Resiliencia frente a cortes:** aplicar 3 ciclos de corte de energía (duraciones 10s, 1min, 5min) y registrar tiempo hasta reanudación completa y pérdida de datos.

4) **Robustez de recetas:** ejecutar 5 recetas distintas (ej. kombucha, hidromiel) y evaluar tasa de éxito (sin intervención humana) y % de desviación respecto a parámetros objetivo.

Los resultados deberán presentarse mediante curvas temporales, boxplots y tablas con métricas resumen (media, desviación estándar, tiempo de reanudación.

**Control de fermentos**

Los rangos objetivos de tiempos, temperatura y pH fueron obtenidos por referencias o recomendaciones.

Ej. Fermentación láctica: [4] [5] [6]

Chucrut (*Sauerkraut*)

Tiempo de fermentación de 2-4 semanas con una temperatura de entre 21-24°C, con un pH inicial de ~6.0 a uno objetivo de por debajo de 4.1, 3.6 idealmente.

Ej. Fermentación alcohólica: [7] [8]

Hidromiel (*Mead*)

Tiempo de fermentación primaria de 2-4 semanas, 1-6 meses de clarificado, con una temperatura de entre 15-30°C, con un pH inicial del mosto ~3.2-4.5, a uno objetivo de ~3.4-3.8, con un nivel de alcohol de entre 8-18% v/v, dependiendo de la densidad inicial, tipo de levadura y nutrientes utilizados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para el control de temperatura actualmente se está utilizando una placa peltier conectada a un puente H. Con el puente H se determina el sentido de la corriente y la cantidad de corriente que fluye en la placa peltier, permitiendo de esa manera, determinar si la placa va a enfriar o calentar, en caso de ser necesario para mantener la temperatura objetivo. Para el enfriamiento o calentamiento del fermento, se toman los valores fijados de temperatura previamente para la etapa de la fermentación (Ver trabajos futuros) para el cual, si está cerca de llegar al umbral de temperatura mínima o máxima fijada se activa el control automático de temperatura.

**Trabajos relacionados**

Existen soluciones comerciales que abordan parcialmente la automatización doméstica de fermentos (p. ej. dispositivos caseros de kombucha, equipos de producción doméstica y sistemas industriales compactos). Estos productos suelen enfocarse en un tipo de fermento o en el control de temperatura únicamente, sin un ecosistema de recetas ni mecanismos robustos de reanudación ante fallos. En el ámbito académico, trabajos sobre automatización de procesos bioprocesales enfatizan el control de variables críticas y la adquisición de datos para asegurar reproducibilidad; empero, la integración hardware+software para uso doméstico sigue siendo incipiente.

**Caso de uso y experiencia de usuario**

La interfaz fue diseñada para facilitar el flujo típico: seleccionar una receta, configurar parámetros, iniciar el proyecto y monitorear en tiempo real. Se generaron mockups mobile minimalistas que muestran el dashboard (resumen) y el gestor de recetas; dichos mockups sirven para validación de UX y para pruebas con usuarios piloto.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

FERMINATOR propone una solución integrada para automatizar fermentaciones domésticas con un enfoque en reproducibilidad y resiliencia. Como próximos pasos se prioriza: (i) ejecución del protocolo experimental propuesto y publicación de resultados, (ii) validación microbiana en colaboración con laboratorios de microbiología, (iii) optimización de costes para crear una versión comercial accesible y (iv) incorporación de modelos de control más sofisticados (PID adaptativo) que permitan tomar las condiciones ambientales que lo rodea y evitar linealidades (valores fijos) para optimizar el proceso de fermentación.

**Agradecimientos**

A nuestras familias, amigos y colegas, por siempre apoyarnos.

**Referencias**

1. Tutorial transmisor de celda de carga hx711 https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-balanza-digital.html
2. Raspberry Pi DS18B20 Temperature Sensor Tutorial https://www.circuitbasics.com/raspberry-pi-ds18b20-temperature-sensor-tutorial/
3. Raspberry Pi Distance Sensor using the HC-SR04 https://pimylifeup.com/raspberry-pi-distance-sensor
4. The Science of Lactic Acid Fermentation: Pickles, Kraut, Kimchi, and More https://www.seriouseats.com/science-of-lactic-acid-fermentation-preservation
5. Microbial Community Analysis of Sauerkraut Fermentation Reveals a Stable and Rapidly Established Community https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5977097/
6. Enhancing The Safety of Locally Prepared Foods https://psdocs.spes.vt.edu/DM/FermentedVegetables.pdf
7. Physicochemical Properties of Traditionally Produced Mead https://www.mdpi.com/2306-5710/11/3/61
8. Mead production and quality: A review of chemical and sensory mead quality evaluation with a focus on analytical methods https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996924017265
9. PH-4502C Sensor how to use and calibrate using arduino uno r3 https://raaflahar.medium.com/ph-4502c-sensor-diymore-how-to-use-and-calibrate-using-arduino-uno-r3-3afc2b96631
10. BTS7960 High Current 43A H-Bridge Motor Driver

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



https://www.handsontec.com/dataspecs/module/BTS7960%20Motor%20Driver.pdf

11. TEC1-12715 Datasheet
https://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12715.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ProyectAR: Plataforma Web para la Gestión Colaborativa de Proyectos Académicos

**Dellafiore, Matías**
**Morelli, Matías Ariel**
**Rosa, Nicolás Nahuel**
**Montenegro, Franco Martín**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*La visibilidad y difusión de los proyectos finales de Ingeniería en Sistemas constituye un desafío recurrente en el ámbito académico. Actualmente, los trabajos realizados por los estudiantes de quinto año no cuentan con un espacio centralizado y accesible para ser consultados por la comunidad educativa y/o el público en general. Para intentar resolver este problema es que nace ProyectAR, una plataforma digital abierta a todos, que permite buscar y visualizar proyectos finales desarrollados en la carrera de Ingeniería en Sistemas. La solución busca fomentar la transparencia, servir de inspiración a futuros estudiantes, y mostrar a la sociedad el valor y el impacto de los trabajos realizados en la facultad. La propuesta se basa en un repositorio web centralizado, con capacidad de filtrado por año, temática, tecnologías utilizadas, entre otros. Además, incorpora funcionalidades de búsqueda avanzada y visualización de fichas descriptivas de cada proyecto. Además, se incorporan las funcionalidades de un aula virtual, estas son, entre otras, la posibilidad de subir documentos, corregirlos, crear cursos y grupos, dar de alta alumnos y profesores. Se analizan los requisitos funcionales y no funcionales, el modelo de arquitectura, las decisiones tecnológicas y las políticas de integración y seguridad necesarias para garantizar la escalabilidad, la mantenibilidad y la apertura de la solución.*

**Palabras Clave**
Proyectos Finales, Ingeniería en Sistemas, Plataforma Web, Repositorio Académico, Difusión, Acceso Abierto, Transparencia, Innovación, aula virtual.

## Introducción

En el marco de la carrera de Ingeniería en Sistemas, cada grupo de estudiantes debe desarrollar un **Proyecto Final Integrador** que sintetiza y busca aplicar las competencias adquiridas a lo largo de la formación. Esta materia es común también en la mayoría de las carreras de grado.

Estos proyectos abarcan temáticas diversas como inteligencia artificial, gestión de datos, desarrollo de aplicaciones, infraestructura, ciberseguridad y soluciones innovadoras para problemas reales de la sociedad y las empresas.

La elección de la idea a desarrollar como proyecto final puede presentar desafíos significativos tanto para estudiantes como para docentes. Esto principalmente se da porque los trabajos realizados en años anteriores muchas veces no están fácilmente accesibles, entonces los alumnos cuando creen que tienen una propuesta innovadora ven que es rechazada por haber sido realizada en el pasado.

Visto de otra manera, la imposibilidad de contar con un repositorio público con los proyectos realizados en años anteriores también provoca que se pierda visibilidad sobre lo realizado, siendo que muchos de ellos podrían despertar el interés de muchas empresas o inversionistas.

Por último, cabe mencionar que, durante su desarrollo, estos trabajos requieren colaboración intensiva, gestión de múltiples documentos y seguimiento continuo del progreso. Tradicionalmente, para estos procesos se utilizan herramientas dispersas como correo electrónico, Google Drive, Slack, entre otros.

La propuesta de este proyecto busca resolver estas problemáticas mediante la creación de una **plataforma pública y centralizada** en la que se carguen y corrijan los diferentes

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



documentos que hacen a cada trabajo y, por último, se publiquen los proyectos finales aprobados. El sistema permitirá acceder a información clave de cada proyecto, incluyendo:

- Resumen y objetivos.
- Integrantes y roles.
- Tecnologías utilizadas.
- Documentos asociados (Papers, presentaciones, código, entre otros).

De esta forma, el proyecto contribuye a:

- Fortalecer la **transparencia académica** y el acceso abierto al conocimiento.
- **Incentivar la innovación** al mostrar casos reales y aplicados.

**Definición de los Requerimientos**

Luego de las instancias de análisis y reuniones iniciales con usuarios y profesores de la cátedra, el equipo definió un conjunto de **Requerimientos Funcionales** y **Requerimientos No Funcionales** para la solución.

*Requerimientos Funcionales*

**Gestión de Proyectos**: El sistema debe permitir almacenar información estructurada de cada Proyecto Final: título, resumen, integrantes, tutores, tecnologías y documentos asociados.
**Búsqueda y filtrado**: Los usuarios deben poder buscar proyectos por palabra clave y filtrarlos por criterios como año, temática, área de aplicación, o tecnologías.
**Visualización pública**: La plataforma debe mostrar fichas individuales de cada proyecto con su información principal y enlaces a materiales adicionales.
**Gestión de visibilidad**: Los docentes deben poder controlar qué proyectos se publican de manera abierta y cuáles permanecen privados.
**Notificaciones**: Los administradores recibirán notificaciones sobre nuevos proyectos cargados o solicitudes de publicación.
**Exportación de resultados**: El sistema debe permitir exportar listados o reportes de proyectos en formatos estándar (CSV, PDF).

*Requerimientos No Funcionales*

**Disponibilidad**: La plataforma debe estar accesible el 99,5% del tiempo mensual.
**Seguridad**: Toda la información debe transmitirse bajo protocolo HTTPS, y los accesos internos deben gestionarse mediante autenticación federada (SSO).
**Usabilidad**: El sistema debe ser intuitivo, permitiendo que un usuario sin capacitación previa pueda realizar una búsqueda amigable para todos los usuarios.
**Escalabilidad**: La arquitectura debe soportar un crecimiento sostenido de la base de datos (al menos 50 proyectos anuales sin pérdida de rendimiento).
**Interoperabilidad**: El sistema debe estar preparado para integrarse con sistemas institucionales a futuro.

**Marco Teórico**

La difusión y preservación de la producción académica constituye un aspecto fundamental dentro de cualquier institución universitaria. En particular, los proyectos finales de grado representan el resultado integrador de la formación de un estudiante, ya que condensan conocimientos técnicos, metodológicos y de gestión adquiridos durante toda la carrera. Sin embargo, en muchas universidades, el acceso a este tipo de producciones se encuentra restringido a un ámbito reducido, como ser: los tribunales evaluadores, la cátedras involucradas o repositorios internos que no son de acceso público.
En el ámbito nacional e internacional, numerosas instituciones han avanzado en la implementación de repositorios digitales. Estos sistemas permiten almacenar, organizar y poner a disposición de la comunidad académica y del público general los trabajos de investigación, tesis y proyectos desarrollados en sus carreras de grado y posgrado. Plataformas como DSpace o EPrints se han consolidado como estándares para la gestión de bibliotecas digitales y son utilizadas por universidades de renombre como el MIT, la Universidad de Cambridge o la Universidad de São Paulo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Dichos repositorios no sólo garantizan la conservación del conocimiento, sino que también fomentan la visibilidad de los trabajos y la colaboración entre investigadores.
En Argentina, existen plataformas similares, aunque dispersas. Algunas universidades han desarrollado repositorios digitales de tesis y disertaciones, en el marco de iniciativas como el Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD).
La ausencia de una plataforma que sirva de repositorio público de proyectos finales y que a su vez permita realizar el seguimiento de los desarrollos por parte de profesores y alumnos constituye una oportunidad estratégica. Por un lado, permitiría preservar y dar visibilidad a la producción académica de cientos de estudiantes cada año. Por otro, serviría como fuente de inspiración y referencia para las nuevas generaciones de alumnos que se encuentran en la etapa de definición de sus propios proyectos. Finalmente, también abrirá la posibilidad de mostrar a la sociedad y al sector productivo las capacidades de innovación que se generan en la facultad, fortaleciendo el vínculo universidad–entorno.
En este marco, la propuesta de una plataforma digital abierta al público se inscribe en las tendencias actuales, las cuales buscan democratizar el conocimiento y derribar barreras de acceso a la información.

**Justificación de la Solución Propuesta**
Como se mencionó en la sección anterior, existen plataformas como DSpace, EPrints y el Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD), las cuales presentan limitaciones importantes en el contexto específico de los proyectos finales de grado:

- **Falta de soporte para flujos colaborativos**: Las plataformas existentes están orientadas principalmente a la publicación de documentos finales, sin contemplar el proceso de desarrollo, revisión y seguimiento que caracteriza a los proyectos finales.
- **Escasa personalización**: La adaptación de estas plataformas a las necesidades específicas de una carrera o facultad requiere un esfuerzo técnico considerable y, en muchos casos, no permite incorporar funcionalidades como la gestión de grupos, materias o roles diferenciados.

| Plataforma | Acceso Público | Soporte para Proyectos de Grado | Funcionalidades Colaborativas | Personalización | Integración Institucional | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DSpace | Sí | Sí | No | Limitada | Alta | Requiere configuración avanzada y conocimientos técnicos para personalización. |
| EPrints | Sí | Sí | No | Media | Media | Enfocado en publicaciones científicas, no en flujos colaborativos. |
| SNRD | Sí | Sí (tesis y disertaciones) | No | Baja | Alta | Centralizado a nivel nacional, sin enfoque en interacción entre docentes y alumnos. |
| ProyectAR | Sí | Sí | Sí (aula virtual, seguimiento, roles) | Alta | En Desarrollo | Diseñado específicamente para proyectos finales de Ingeniería en Sistemas. |

Tabla 1: Comparativa entre ProyectAR y algunas de las soluciones existentes

Por estas razones, se optó por desarrollar una solución propia, diseñada desde cero para responder a las necesidades particulares de las materias Proyecto Final de las distintas carreras de ingeniería. ProyectAR no solo actúa como repositorio digital, sino que también incorpora funcionalidades de gestión académica y colaboración, lo que lo convierte en una herramienta integral para estudiantes, docentes y autoridades.

**Arquitectura del Sistema**
La arquitectura propuesta para el sistema se basa en una estructura multicapa que permite separar claramente las responsabilidades, facilitar el mantenimiento y escalabilidad, y garantizar un buen rendimiento. Este diseño responde a las necesidades funcionales identificadas, así como a los atributos de calidad definidos para el sistema, como la disponibilidad, la usabilidad y la mantenibilidad.
La solución está organizada en cuatro capas principales: Cliente, Integración, Aplicación y Datos/Persistencia.
La capa Cliente representa la interfaz de usuario a través de la cual los distintos actores interactúan con el sistema. En este caso, se trata de una aplicación web accesible desde navegadores modernos, con un diseño responsivo que permite su uso desde dispositivos móviles y de escritorio. La interfaz se desarrollará utilizando tecnologías estándar como HTML, CSS y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



JavaScript, apoyadas en un framework moderno como React para facilitar la construcción de componentes reutilizables y dinámicos. Esta capa también contempla la autenticación de usuarios mediante un sistema de inicio de sesión federado con el dominio institucional, permitiendo el acceso diferenciado según el rol (docente, alumno, administrador, usuario externo).

La capa de Integración tiene como objetivo gestionar la comunicación entre la interfaz de usuario y la lógica de negocio. Aquí se definen los puntos de entrada del sistema, implementados a través de servicios web de tipo RESTful. Estos servicios exponen la funcionalidad de la plataforma a través de una API clara y documentada, permitiendo no solo la interacción con el frontend, sino también la posible integración futura con otros sistemas institucionales. La comunicación entre capas se realiza mediante el intercambio de datos en formato JSON sobre HTTP, asegurando interoperabilidad y facilidad de uso.

La capa de Aplicación concentra la lógica de negocio del sistema. Aquí se implementan las reglas que definen el comportamiento de la plataforma: gestión de proyectos, asignación de cursos y grupos, control de visibilidad, administración de usuarios, etc. Esta capa se desarrollará en un entorno Node.js con Express, aprovechando su flexibilidad y su ecosistema de librerías para construir aplicaciones web escalables. Se contemplan también mecanismos de validación de datos, control de errores y registro de actividad para garantizar la integridad y trazabilidad del sistema.

Finalmente, la capa de Datos/Persistencia se encarga del almacenamiento de la información. Se optó por utilizar una base de datos NoSQL como MongoDB, dado que el modelo de datos del sistema (proyectos, usuarios, documentos, metadatos) se presta a una estructura flexible y jerárquica. MongoDB permite almacenar documentos en formato BSON, lo que facilita la indexación y búsqueda por palabras clave, así como la incorporación de nuevos campos sin necesidad de modificar el esquema. La persistencia de los documentos subidos se gestionará mediante un sistema de almacenamiento de archivos (por ejemplo, GridFS o un servicio externo tipo Google Drive) vinculado a los registros en la base de datos.

La arquitectura está diseñada para permitir el despliegue en un entorno de nube, aprovechando servicios como Docker para la contenedorización y así facilitar la instalación, así como la posibilidad de escalar horizontalmente en caso de aumento de la demanda. Esta estructura modular y desacoplada asegura que cada componente pueda evolucionar independientemente, lo que redunda en una mayor mantenibilidad y flexibilidad a futuro.

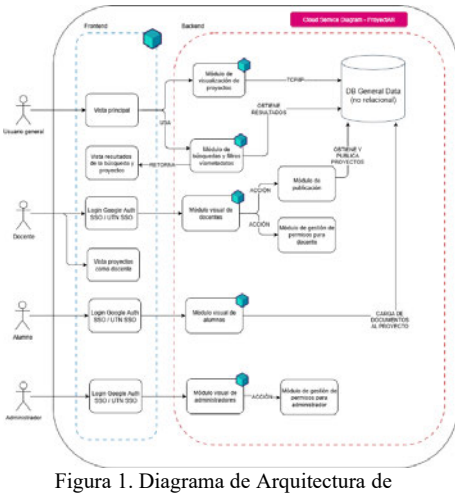



Figura 1. Diagrama de Arquitectura de ProyectAR

**Metodología de desarrollo**

El desarrollo del proyecto se lleva a cabo siguiendo una metodología ágil, en particular el marco de trabajo Scrum, ampliamente utilizado en la industria del software y en entornos académicos donde los equipos deben adaptarse a cambios frecuentes y entregar valor de manera incremental. La elección de Scrum responde a la necesidad de mantener una comunicación fluida con los distintos stakeholders, gestionar adecuadamente el alcance del proyecto y asegurar entregas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



parciales que permitan validar la dirección tomada en cada etapa.

El equipo se encuentra conformado por cuatro integrantes, con roles definidos que abarcan análisis funcional, arquitectura, desarrollo frontend, desarrollo backend y control de calidad. Adicionalmente, se han asignado los roles de Product Owner (PO) y Scrum Master (SM), con el objetivo de garantizar una correcta priorización del backlog y un cumplimiento metodológico ordenado. El PO representa la voz de los usuarios y de la institución, definiendo los objetivos de cada sprint y priorizando las funcionalidades más críticas. El SM, por su parte, se encarga de remover impedimentos, asegurar que las ceremonias se realicen y mantener un clima de colaboración en el equipo.

El proyecto se organiza en sprints de dos semanas de duración, en los cuales se planifica, desarrolla y revisa un conjunto de funcionalidades y documentos clave. Cada sprint inicia con una reunión de planificación (Sprint Planning), en la que el equipo selecciona las historias de usuario a trabajar desde el Product Backlog y define los criterios de aceptación. Durante el desarrollo, se realizan reuniones de seguimiento cortas para identificar bloqueos y ajustar la carga de trabajo. Al finalizar el sprint, se lleva a cabo un Sprint Review en el que se presentan los avances obtenidos a los stakeholders, y un Sprint Retrospective en el que el equipo reflexiona sobre lo que funcionó bien y lo que puede mejorarse.

La documentación se genera de manera incremental junto con el desarrollo, priorizando aquellos artefactos que facilitan la comunicación y la validación.

En cuanto a la gestión de herramientas, se utiliza un repositorio en GitHub para el versionado del código, lo que permite mantener trazabilidad de los cambios y facilitar el trabajo colaborativo. Para la comunicación interna y seguimiento de tareas se emplean tableros Kanban, a través de la plataforma de Mural, asegurando que todas las actividades estén registradas y visibles para el equipo.

La metodología adoptada permite iterar rápidamente sobre las decisiones de diseño y obtener retroalimentación temprana de los usuarios, aspecto crítico en un proyecto que busca alinear sus funcionalidades con las necesidades de la comunidad académica. Asimismo, el enfoque ágil asegura que, en caso de que surjan cambios en los requerimientos o ajustes en las prioridades, el equipo pueda adaptarse sin comprometer la calidad del producto final.

**Resultados**

Al momento de redactar este documento, el desarrollo del proyecto ha permitido obtener avances significativos tanto en el plano documental como en el técnico. Estos resultados iniciales constituyen la base sobre la cual se construirá la versión operativa de la plataforma, asegurando que se cumplan los objetivos planteados en cuanto a visibilidad, accesibilidad y difusión de los proyectos finales.

En primera instancia, se elaboró la documentación base que estructura al proyecto: el Acta de Proyecto, la Matriz de Roles y Responsabilidades, el WBS (Work Breakdown Structure) y la Matriz de Riesgos. Estos artefactos sirvieron para definir el alcance, asignar responsabilidades y prever posibles obstáculos durante el desarrollo.

Asimismo, se avanzó en la definición del MVP (Producto Mínimo Viable), que incluye no solo la carga, búsqueda y visualización de proyectos en la plataforma, sino también funcionalidades clave como la creación de **grupos**, **cursos** y **materias**, así como la posibilidad de **crear usuarios** con distintos roles (profesores, alumnos y administradores). Además, se implementó un sistema de **autenticación mediante cuentas institucionales**, lo que garantiza una gestión segura y centralizada de los accesos. Estas funcionalidades constituyen el núcleo operativo de la plataforma y sientan las bases para su validación con usuarios reales en etapas posteriores.

En paralelo, se completaron entregables técnicos como el Diagrama Entidad–

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Relación (DER) y el Diagrama de Arquitectura del Sistema, los cuales permiten comprender la estructura de datos y la organización de las capas que conforman la solución. Estos avances reflejan la madurez alcanzada en el diseño técnico y habilitan al equipo a continuar con las implementaciones en código.

La adopción de prácticas ágiles no solo contribuyó a mantener la motivación y la organización del equipo, sino que también permitió obtener retroalimentación temprana de los usuarios que participarán en la validación de la plataforma.

Finalmente, uno de los logros más relevantes de esta etapa es la consolidación de un primer prototipo funcional de interfaz de usuario, que permite realizar búsquedas básicas y visualizar fichas de proyectos de ejemplo. Esta versión ya cuenta con integración con la capa de persistencia (con almacenamiento de metadatos en la base de datos y de los documentos en GDrive) y con el sistema de autenticación mediante SSO (Single Sign-On) con cuentas de correo institucionales, lo que representa un hito importante en el desarrollo. A partir de este punto, se planifican pruebas de usabilidad con usuarios reales para validar la experiencia de navegación y la efectividad de las funcionalidades implementadas.

En síntesis, los resultados obtenidos hasta el momento permiten afirmar que el proyecto se encuentra bien encaminado hacia el cumplimiento de sus objetivos. Se han sentado las bases técnicas y metodológicas necesarias para que, en las próximas iteraciones, la plataforma pueda evolucionar hacia un sistema robusto, accesible y abierto al público.

**Discusiones**

El desarrollo de una plataforma abierta para la difusión de proyectos finales plantea una serie de desafíos y aprendizajes que merecen ser discutidos en relación con los objetivos planteados. Si bien los avances alcanzados hasta ahora son alentadores, el análisis crítico permite identificar fortalezas, limitaciones y aspectos a mejorar en futuras etapas del proyecto.

En primer lugar, la decisión de orientar el sistema hacia un modelo de acceso público se confirma como un acierto en términos de impacto académico y social. La posibilidad de que cualquier persona pueda consultar los proyectos realizados en años anteriores no solo contribuye a la transparencia, sino que también genera un canal de comunicación entre la facultad y la sociedad. Esto fortalece la visibilidad de la producción académica y puede convertirse en un insumo valioso para empresas, investigadores y futuros estudiantes próximos a tener que comenzar a desarrollar sus propios trabajos.

Desde el punto de vista metodológico, la aplicación de un enfoque ágil permitió mantener un ritmo sostenido de entregas y una mayor flexibilidad frente a cambios en los requerimientos. La coordinación entre tareas técnicas y documentales ha mejorado progresivamente, y se han alcanzado hitos importantes como los mencionados en la sección anterior. Estos avances reflejan una madurez técnica que habilita la realización de pruebas con usuarios reales en las próximas iteraciones.

En cuanto a la arquitectura propuesta, la adopción de una estructura multicapa con APIs y base de datos NoSQL ofrece ventajas en términos de escalabilidad y mantenibilidad. No obstante, la elección de MongoDB y de un backend en Node.js requiere que el equipo consolide buenas prácticas de diseño y seguridad, ya que se trata de tecnologías que, si bien son flexibles, demandan un control riguroso para evitar inconsistencias en los datos o vulnerabilidades de acceso. Asimismo, la integración futura con sistemas institucionales representa un desafío técnico adicional que deberá ser abordado en fases posteriores del proyecto.

Otro aspecto relevante tiene que ver con la usabilidad y adopción del sistema. El prototipo actual ha permitido validar la facilidad de uso en pruebas internas, y se prevé la realización de pruebas de usabilidad con estudiantes, docentes y usuarios

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



externos para evaluar la experiencia de navegación, identificar oportunidades de mejora y ajustar las funcionalidades a las necesidades reales de la comunidad académica.

Finalmente, se destaca que la sostenibilidad del sistema dependerá no solo de las decisiones tecnológicas, sino también de la definición de un modelo de gobernanza institucional claro. Será necesario establecer lineamientos sobre la administración de la plataforma, los criterios de publicación de proyectos y las políticas de mantenimiento y actualización. La discusión sobre estos aspectos trasciende lo técnico y abre un espacio de reflexión sobre el rol de la institución en la preservación y difusión del conocimiento generado por sus estudiantes.

En suma, el proyecto se encuentra en una etapa de consolidación técnica y metodológica, con un MVP funcional y una hoja de ruta clara para su validación empírica. Los desafíos identificados representan oportunidades de mejora que serán abordadas en las siguientes fases, con el objetivo de garantizar la calidad, sostenibilidad y relevancia de la solución propuesta.

## Conclusiones

El desarrollo de una plataforma digital orientada a la difusión de los proyectos finales constituye un aporte significativo tanto para la comunidad académica como para la sociedad en general. La iniciativa responde a una necesidad concreta: visibilizar y preservar la producción académica de los estudiantes, al tiempo que se genera un espacio de consulta abierto que refleja la capacidad innovadora y el compromiso formativo de la institución.

Los avances logrados hasta el momento han permitido sentar una base sólida a nivel documental, metodológico y técnico.

La definición de una arquitectura multicapa moderna asegura que la plataforma sea escalable, mantenible y preparada para integraciones futuras con sistemas institucionales o externos.

Asimismo, el diseño inicial de la interfaz de usuario permitió validar tempranamente aspectos de usabilidad, atributo central del proyecto dado que el sistema está orientado a un público diverso que incluye tanto miembros de la comunidad académica como usuarios externos. Este enfoque garantiza que la plataforma no solo cumpla su función de repositorio digital, sino que también se convierta en una herramienta de fácil acceso y consulta para cualquier interesado en conocer los proyectos realizados.

En términos institucionales, el proyecto abre la puerta a fortalecer el vínculo entre las facultades y su entorno social y productivo. Al exponer públicamente el trabajo de los estudiantes, se promueve la transparencia, se fomenta la colaboración y se genera un canal de comunicación que puede derivar en nuevas oportunidades de transferencia tecnológica y vinculación con el sector industrial.

En conclusión, la plataforma propuesta no solo resuelve una necesidad concreta de difusión académica, sino que también constituye un paso hacia la modernización de los procesos de difusión y hacia la democratización de los conocimientos generados dentro de las facultades.

**Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Cátedra de Proyecto Final de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, por su valiosa colaboración en la realización de nuestra idea. Sus aportes y recomendaciones fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto, y la motivación que nos brindaron fue de gran importancia.

**Referencias**

[1] Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2013). Software Architecture in Practice (3rd ed.). Addison-Wesley.

[2] Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., … Thomas, D. (2001). [1] Manifesto for Agile Software Development. Recuperado de https://agilemanifesto.org

[3] Fowler, M. (2010). Patterns of Enterprise Application Architecture. Addison-Wesley.

[4] International Federation of Library Associations and Institutions (IFLA). (2011). Guidelines for

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Institutional Repositories. Recuperado de https://www.ifla.org
[5] Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCyT). (2013). Sistema Nacional de Repositorios Digitales. Recuperado de https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar
[6] Open Archives Initiative (OAI). (2002). The Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting. Recuperado de https://www.openarchives.org/pmh/
[7] Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2015). Software Engineering: A Practitioner's Approach (8th ed.). McGraw-Hill.
[8] Raymond, E. (2001). The Cathedral and the Bazaar: Musings on Linux and Open Source by an Accidental Revolutionary. O'Reilly Media.
[9] Sommerville, I. (2016). Software Engineering (10th ed.). Pearson.
Suber, P. (2012). Open Access. MIT Press

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Talky: Aplicación móvil para el aprendizaje adaptativo de inglés especializado con inteligencia artificial

**Ciccone, Agustín Elian**
**Giasone, Santiago Claudio**
**Goicoechea, Tomas Lucas**
**Monteros, Matias Javier**
**Niedfeld, Kevin Javier**
***Universidad Nacional de La Matanza, Unidad académica***

**Abstract**
*En este documento se presenta el desarrollo de una aplicación móvil educativa diseñada para estudiantes universitarios y profesionales que necesitan mejorar su inglés especializado en contextos académicos y laborales. La propuesta surge ante la dificultad de los métodos tradicionales para adaptarse al nivel, intereses y área de especialización de cada persona. La aplicación integra modelos de inteligencia artificial generativa para crear contenidos dinámicos, traducirlos en tiempo real, asistir en conversaciones simuladas y ofrecer autoevaluaciones personalizadas. Entre los principales beneficios se destacan la personalización del aprendizaje, la posibilidad de practicar inglés en escenarios específicos de distintas carreras, y la preparación progresiva para certificaciones internacionales. A diferencia de otras herramientas generalistas del mercado, esta propuesta introduce un enfoque contextualizado por carrera y validado mediante principios pedagógicos y métricas de usabilidad.*

**Palabras Clave**
Inglés especializado – Inteligencia artificial – Educación personalizada – Aplicación móvil – Aprendizaje adaptativo – Generación de contenido – Asistente conversacional – Autoevaluaciones

## Introducción

El dominio del idioma inglés constituye un factor determinante para la empleabilidad, la movilidad académica y la producción científica internacional. Diversos informes confirman que el inglés es requisito explícito en aproximadamente el 22 % de las ofertas laborales europeas, especialmente en posiciones profesionales y gerenciales [1].

A nivel global, se estima que más del 95 % de los artículos científicos se publican en inglés, lo que consolida su condición como lengua principal de la ciencia y la tecnología [2][3]. Este fenómeno, ampliamente documentado por la literatura académica, refuerza la necesidad de contar con estrategias de enseñanza adaptadas a contextos profesionales y universitarios donde el dominio del idioma resulta indispensable.

En ese marco, las investigaciones sobre aprendizaje de idiomas asistido por dispositivos móviles (Mobile Assisted Language Learning, MALL) [7] y agentes conversacionales han demostrado que las aplicaciones móviles pueden mejorar la exposición al idioma, promover la práctica contextualizada y favorecer la retención del conocimiento [7][16]. Meta-análisis recientes destacan mejoras significativas en adquisición de vocabulario y fluidez oral cuando las actividades se diseñan con objetivos pedagógicos claros y soporte adaptativo.

La irrupción de los modelos de lenguaje de gran escala (Large Language Models, LLMs) ha ampliado este horizonte, permitiendo la generación automática de materiales y la retroalimentación personalizada en tiempo real. No obstante, estudios actuales advierten sobre los riesgos asociados a sesgos, factualidad y privacidad [6]. En consecuencia, el presente trabajo explora una alternativa pedagógica que combina la adaptabilidad del aprendizaje móvil con la capacidad generativa de los LLMs, orientada al desarrollo del inglés técnico y profesional.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Problema que abordamos**
Se identifica una brecha específica: la carencia de herramientas accesibles que ofrezcan inglés especializado segmentado por carrera o profesión, con generación dinámica de contenido, práctica conversacional contextual y autoevaluaciones adaptativas. Este proyecto propone y evalúa un prototipo móvil que integra estas funcionalidades bajo un enfoque pedagógico personalizado.

¿Por qué un enfoque móvil con asistente basado en LLM? Los motivos principales son: demandas del mercado y de la investigación. La evidencia empírica sobre la demanda de habilidades lingüísticas en el empleo [1][5] y la prevalencia del inglés en la investigación científica [2][3] justifican invertir en herramientas que acerquen competencia comunicativa específica a estudiantes y profesionales.

**Eficacia demostrada de MALL y chatbots** [8]
Revisiones de MALL muestran beneficios como la mejora del vocabulario, mayores oportunidades de práctica y aprendizaje situacional [7]. Investigaciones sobre agentes conversacionales indican que la retroalimentación inmediata y la disponibilidad permanente potencian la práctica comunicativa [8]. Estas conclusiones justifican la integración de un asistente conversacional como núcleo de la experiencia. A esto se suma el potencial de los modelos de lenguaje, que permiten la generación dinámica de contenido, personalización y mantenimiento de contexto en conversaciones multi-turno. Estudios recientes presentan recomendaciones para su uso responsable en educación, enfatizando la verificación de datos y la mitigación de sesgos [6].

**Infraestructura y APIs**
La infraestructura de la aplicación se diseñó con el objetivo de equilibrar rendimiento, costo y escalabilidad. Se optó por el uso de modelos alojados en la nube (OpenAI/Azure), ya que ofrecen ventajas en capacidad de procesamiento, calidad de generación y mantenimiento, frente a alternativas locales que requieren hardware especializado y costos elevados de entrenamiento. Esta elección permitió acelerar el desarrollo del prototipo sin comprometer la calidad del contenido generado, aspecto crítico en entornos educativos basados en IA [9].

En cuanto a la traducción y el Text-To-Speech o TTS (en español, conversión de texto a voz), se integraron servicios comerciales y alternativas open-source (como LibreTranslate), con el propósito de conservar control sobre la disponibilidad y mitigar límites de uso. Esta combinación de servicios garantiza autonomía progresiva respecto a proveedores externos y posibilita experimentación con modelos locales a medida que el sistema evolucione.

**Consideraciones pedagógicas y de usabilidad**
El diseño se basó en principios de usabilidad (simplicidad, consistencia, feedback) y en marcos de evaluación estandarizados como el Global Scale of English (GSE) y el Marco Común Europeo de Referencia (CEFR), lo que asegura alineación con prácticas de evaluación reconocidas en el ámbito educativo [4] [15].

**Requerimientos Funcionales**
La aplicación debe ofrecer al usuario funcionalidades mínimas que aseguren una experiencia de aprendizaje efectiva y contextualizada. Estas incluyen:

- Inducción y Configuración de Usuario: selección de carrera/profesión, intereses temáticos y evaluación inicial para medir el nivel de inglés.
- Generación de Contenido: creación dinámica de textos adaptados al perfil del usuario, traducción bidireccional (inglés a español y viceversa) y reproducción por Text-To-Speech.
- Asistente Conversacional: simulaciones de diálogos académicos y profesionales,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



con correcciones contextuales (vocabulario, gramática y expresiones).
- Autoevaluaciones: generación de pruebas adaptativas según nivel y contexto, con retroalimentación sobre áreas a mejorar.

En contraste con aplicaciones generalistas, el sistema utiliza el perfil profesional del usuario para condicionar las prompts enviadas al modelo de IA, lo que permite que los textos y las simulaciones conversacionales utilicen terminología disciplinar específica (por ejemplo, ingeniería, medicina o derecho).

**Requerimientos No Funcionales**

Además de las funcionalidades mínimas, se definen un conjunto de requerimientos no funcionales que garantizan la calidad, seguridad y escalabilidad de la aplicación.

En cuanto a la usabilidad y accesibilidad, como se menciona previamente, la interfaz fue diseñada siguiendo principios de simplicidad, consistencia y feedback [8], priorizando la claridad sobre la cantidad de opciones disponibles. Se incorporan call-to-action (en español, llamado a la acción) iniciales que guían al usuario en sus primeras interacciones, reduciendo la curva de aprendizaje. Asimismo, se contemplan buenas prácticas de accesibilidad digital, tales como contraste de colores adecuado, soporte para lectores de pantalla y navegación fluida.

Respecto al rendimiento, se establecieron métricas de tiempo de respuesta: generación de contenidos en menos de 2 segundos promedio y un tiempo máximo de carga de la aplicación inferior a 5 segundos en dispositivos de gama media. El consumo de memoria y CPU se mantiene optimizado mediante llamadas asincrónicas y precarga selectiva de contenido, lo que garantiza un uso eficiente de recursos en smartphones.

La seguridad de los datos constituye otro eje central. Se utilizan contraseñas encriptadas con bcrypt, autenticación mediante tokens JWT (JSON Web Token) de corta duración [11] y almacenamiento cifrado de estadísticas y progreso en PostgreSQL gestionado por Supabase [12]. Se incluyen políticas de expiración automática de sesión y monitoreo de actividad para prevenir accesos indebidos.

Finalmente, la escalabilidad se asegura mediante una arquitectura distribuida con replicación horizontal, balanceo de carga dinámico y orquestación de contenedores Docker en Azure.

**Arquitectura y diseño**

La arquitectura adoptada es MVC extendido (Model-View-Controller) con capas adicionales de servicio y repositorio, lo cual asegura una separación clara de responsabilidades y facilita la mantenibilidad.
- Capa de Controladores: gestiona las peticiones y coordina las interacciones entre las capas internas.
- Capa de Servicios: encapsula la lógica de negocio, incluyendo generación de contenido, validación de autoevaluaciones y manejo de interacciones conversacionales.
- Capa de Repositorios: implementada mediante Prisma ORM sobre PostgreSQL, responsable del acceso y persistencia de datos.
- Capa de Vista: desarrollada en React Native, con un diseño responsivo y adaptable tanto para Android como iOS.

Se aplicaron patrones de diseño:
- Singleton: para la conexión con base de datos y la configuración centralizada de la API de IA.
- Factory: para la creación dinámica de evaluaciones y contenidos personalizados, desacoplando la lógica de negocio de implementaciones específicas.
- La comunicación con servicios externos se realiza a través de APIs REST y WebSockets, permitiendo mantener

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sesiones de conversación continuas y asincrónicas.

En comparación con arquitecturas monolíticas empleadas por aplicaciones educativas tradicionales, esta disposición facilita escalar de manera modular y reemplazar componentes de IA según disponibilidad o costo.

**Metodología de desarrollo**

El proyecto se gestionó bajo la metodología ágil Scrum, seleccionada por su capacidad de adaptación y entrega incremental. Se estructuró en sprints de 3 semanas, con reuniones de seguimiento diarias y retrospectivas al cierre de cada ciclo.

El backlog de producto se priorizó siguiendo criterios de valor para el usuario: primero se desarrollaron los módulos de generación de contenido y asistente conversacional, posteriormente las autoevaluaciones y finalmente funcionalidades de soporte (estadísticas, reportes).

Los requerimientos se validaron mediante entrevistas exploratorias con estudiantes universitarios y profesionales jóvenes, quienes aportaron feedback sobre usabilidad y relevancia del contenido.

La gestión de proyecto se realizó en Jira, con tableros Kanban y burndown charts para medir progreso. La integración continua se implementó mediante GitHub Actions, utilizando pipelines que validan el código.

**Módulos y componentes con dependencias externas**

Los principales módulos de la aplicación son:

- Generación de contenido: utiliza la API de OpenAI [9] para crear textos personalizados, integrando además traducción automática y reproducción mediante Text-To-Speech (TTS) de Azure.
- Asistente conversacional: basado en LLMs, mantiene conversaciones multi-turno, con feedback inmediato y capacidad de retomar el contexto.
- Autoevaluaciones: genera pruebas adaptativas con preguntas de opción múltiple, completar oraciones y redacción breve. Se usa el patrón Factory para adaptar la complejidad según nivel.
- Persistencia y seguridad: gestionada con Supabase (PostgreSQL + Prisma ORM), que facilita autenticación, almacenamiento y auditoría de cambios.
- Reconocimiento de voz (en inglés, Speech-to-Text, STT): integrado mediante Azure Cognitive Services.

Un sistema de trazabilidad mediante traceId permite rastrear cada solicitud, facilitando la auditoría de resultados y la detección de fallos.

A diferencia de las plataformas comerciales mencionadas, el diseño modular permite reemplazar fácilmente el motor de IA o agregar nuevos idiomas sin rediseñar la arquitectura completa, lo que constituye un aporte diferencial en flexibilidad y sostenibilidad

**Resultados**

El desarrollo alcanzó un producto mínimo viable (del inglés Minimum Viable Product, MVP) completamente funcional, con los tres módulos principales operativos: generación de contenido, asistente conversacional y autoevaluaciones. Las pruebas realizadas en entorno de staging mostraron:

- Tiempo promedio de generación de contenido: 1,8 segundos.
- Escalabilidad: pruebas de carga con 500 usuarios concurrentes mantuvieron tiempos de respuesta inferiores a 3 s.
- Aceptación de usuario: en un piloto con estudiantes de informática (n=30), un 87% valoró positivamente la personalización del contenido y un 76% destacó la utilidad del asistente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



conversacional para entrenar vocabulario técnico.

Estos resultados evidencian que la aplicación cumple con los objetivos iniciales de ofrecer aprendizaje adaptativo, aunque persisten desafíos relacionados con latencia y dependencia de conectividad.

**Discusión**

El análisis de resultados confirma la viabilidad técnica del enfoque, destacando la importancia de integrar IA generativa en escenarios educativos. Las revisiones sobre agentes conversacionales subrayan la necesidad de feedback preciso y la gestión de errores generativos. Nuestros pilotos indicaron casos puntuales donde la corrección automática no fue perfecta en terminología muy específica, lo cual es consistente con revisiones que advierten sobre la necesidad de controles de calidad y post-procesado en dominios técnicos [14].

A diferencia de aplicaciones generalistas como Duolingo o Babbel, la propuesta presentada ofrece un enfoque académico y profesional que incrementa su aplicabilidad en entornos universitarios y laborales especializados [13].
Sin embargo, se identificaron limitaciones importantes:

- Dependencia de servicios externos: latencias y límites de API pueden afectar escalabilidad y continuidad de servicio; la solución contempla despliegue de componentes código abierto para mitigar riesgos, pero queda trabajo por hacer en la redundancia.
- Falta de soporte offline: restringe su uso en entornos con baja conectividad.
- Cobertura lingüística limitada: actualmente solo se centra en inglés.

Estas limitaciones abren espacio a trabajos futuros, entre ellos la optimización con modelos locales híbridos, el desarrollo de una versión web, y la incorporación de otros idiomas técnicos.

**Trabajos Relacionados**

Investigaciones sobre aprendizaje de idiomas asistido por dispositivos móviles (MALL, por sus siglas en inglés) demuestran que la personalización y el feedback inmediato son claves para la retención de usuarios [7]. Aplicaciones comerciales como Busuu y Babbel implementan rutas personalizadas, pero carecen de adaptación específica a carreras universitarias.

Estudios recientes sobre IA en educación resaltan la importancia de LLMs para ofrecer interacciones más realistas y contextuales [6]. En particular, trabajos como los de Kukulska-Hulme [10] muestran que la integración de tecnologías emergentes mejora la motivación y facilita la adquisición de competencias lingüísticas.

Nuestra propuesta se distingue al integrar 3 características principales: en primer lugar, nos enfocamos específicamente en inglés especializado por carrera/profesión (no solo en aprendizaje general), con generación dinámica de textos y conversaciones contextualizadas al ámbito profesional del usuario. En segundo lugar, integramos retroalimentación pos-conversación y simulacros adaptativos orientados a certificación, y registramos trazabilidad por request para facilitar auditoría y mejora. Por último, implementamos una estrategia pragmática de uso de servicios externos para acelerar prototipado e investigación aplicada, combinada con despliegue local de componentes que mitiguen límites de uso.

**Conclusión**

El trabajo presentado permitió comprobar la viabilidad técnica de una aplicación móvil orientada al aprendizaje de inglés con enfoque académico-profesional, integrando módulos de generación de contenidos, asistente conversacional y autoevaluaciones adaptativas. El uso de modelos de lenguaje natural demostró ser un recurso eficaz para generar material relevante y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



contextualizado, mientras que las pruebas iniciales con usuarios evidenciaron un nivel satisfactorio de aceptación y utilidad.

No obstante, persisten desafíos que limitan el alcance actual de la solución. Entre ellos, la fuerte dependencia de proveedores externos de inteligencia artificial, que introduce incertidumbre en costos y latencia, así como la ausencia de mecanismos de funcionamiento offline, que restringen la accesibilidad en entornos con baja conectividad. Asimismo, la cobertura lingüística se limita al inglés, lo cual restringe el impacto en otras comunidades académicas y profesionales.

En relación con trabajos previos, el aporte diferencial radica en la integración de tres ejes de aprendizaje en un mismo entorno —contenidos adaptativos, práctica conversacional y evaluaciones automatizadas— bajo un marco orientado a carreras universitarias específicas. Esta combinación supera la lógica de aplicaciones generalistas, aportando un valor añadido al situar el aprendizaje de idiomas dentro de escenarios profesionales concretos.

Como líneas de trabajo futuras se plantea:

1. Avanzar hacia la implementación de un sistema híbrido que combine modelos locales con servicios en la nube para optimizar latencia y reducir costos operativos.
2. Extender la plataforma a un entorno web que permita incluir a usuarios de computadoras de escritorio y ampliar el espectro de adopción institucional.
3. Incorporar nuevos idiomas técnicos con enfoque en el portugués y el francés.
4. Profundizar el análisis de métricas de aprendizaje para evaluar de manera cuantitativa el impacto pedagógico en cohortes diversas de estudiantes y profesionales.

Con estas mejoras, la solución podrá evolucionar hacia una plataforma integral de aprendizaje de lenguas en contextos universitarios y laborales, consolidándose como una herramienta complementaria a los métodos tradicionales y potenciando la formación de profesionales en un mercado cada vez más globalizado.

**Agradecimientos**

Se agradece a la cátedra del Proyecto Final de Carrera de la Universidad Nacional de La Matanza (UNLaM) por su colaboración y recomendaciones durante la realización del proyecto. Su asesoramiento resultó fundamental para orientar las decisiones técnicas y pedagógicas descritas en este trabajo.

**Referencias**

[1] Marconi, G.; Vergolini, L.; Borgonovi, F.; et al. *The demand for language skills in the European labour market: Evidence from online job vacancies. OECD Social, Employment and Migration Working Papers* No. 294. Paris: OECD Publishing, 2023. (PDF). https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/06/the-demand-for-language-skills-in-the-european-labour-market_e5b9dfea/e1a5abe0-en.pdf

[2] Ethnologue. English language (ENG) — statistics and overview. SIL International, 2023. (Web). https://www.ethnologue.com/language/eng/

[3] Ramírez-Castañeda, V. *Disadvantages in preparing and publishing scientific papers caused by the dominance of the English language in science: The case of Colombian researchers in biological sciences*. PLOS ONE, 2020. (PDF). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238372

[4] Pearson. *GSE: 10 years of innovation*. Pearson Languages, 2024. (PDF). https://www.pearson.com/content/dam/one-dot-com/one-dot-com/pearson-languages/en-gb/resources/pearson-gse-10-years-of-innovation.pdf

[5] Cambridge English. *English at Work: Global Analysis of Language Skills in the Workplace*. Cambridge University Press, 2016. (PDF). https://www.cambridgeenglish.org/images/english-at-work-full-report.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[6] Xu, Hanyi; Gan, Wensheng; Qi, Zhenlian; Wu, Jiayang; Yu, Philip S. *Large Language Models for Education: A Survey*. arXiv, 2024. (PDF). https://arxiv.org/abs/2405.13001

[7] Sung, Y.T.; Chang, K.E.; Liu, T.C. *The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis*. Computers & Education, Vol. 94, 2016, pp. 252–275. (Artículo académico, PDF). https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131515300804?via%3Dihub

[8] Huang, W.; Hew, K.F.; Fryer, L.K. *Chatbots for language learning – are they really useful? A systematic review of chatbot-supported language learning*. Journal of Computer Assisted Learning, 38(1), 237-257, 2022. (PDF). https://doi.org/10.1111/jcal.12610

[9] OpenAI. *API Documentation*. OpenAI, 2024. (Web). https://platform.openai.com/docs/

[10] Kukulska-Hulme, A. *Mobile-assisted language learning.* In: Reinders, H. (Ed.), *Innovation in Language Learning and Teaching*. London: Palgrave Macmillan, 2009, pp. 157–175. (PDF). https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781405198431.wbeal0768.pub2

[11] OWASP. *JSON Web Token (JWT) Cheat Sheet for Java*. OWASP Cheat Sheet Series, 2023. (Web). https://cheatsheetseries.owasp.org/cheatsheets/JSON_Web_Token_Cheat_Sheet_for_Java.html

[12] Supabase. *Supabase Documentation*. Supabase, 2024. (Web). https://supabase.com/docs

[13] Jiang, X.; Rollinson, J.; Plonsky, L.; Gustafson, E.; Pajak, B. *Evaluating the reading and listening outcomes of beginning-level Duolingo courses*. Duolingo, Pittsburgh, Pennsylvania & Department of English, Northern Arizona University; 2021. (PDF). https://static.duolingo.com/s3/DuolingoReport_Final.pdf

[14] Xiao, F.; Zhao, P.; Sha, H.; Yang, D.; Warschauer, M. *Conversational agents in language learning*. Journal of China Computer-Assisted Language Learning, Vol. 4, No. 2, 2024, pp. 300-325. (PDF). https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/jccall-2022-0032/html?lang=en&srsltid=AfmBOorgtAjj_C-0aB2e9r8NKb6yMq3cAZ2xRnLdqeMZHeHucEXJXupP

[15] Pearson. *How English empowers your tomorrow.* Pearson Languages, 2024. (PDF). https://www.pearson.com/content/dam/one-dot-com/one-dot-com/pearson-languages/en-gb/pdfs/gse-research-global-report-en.pdf

[16] Li, M. *Computer-mediated collaborative writing in L2 contexts: an analysis of empirical research*. Computer Assisted Language Learning, 31(8), 882-904, 2018. (PDF). https://doi.org/10.1080/09588221.2018.1465981

**Datos de Contacto:**

*Ciccone, Agustin Elian. Universidad Nacional de La Matanza. aciccone@alumno.unlam.edu.ar.*

*Giasone, Santiago Claudio. Universidad Nacional de La Matanza. sgiasone@alumno.unlam.edu.ar.*

*Goicoechea, Tomas Lucas. Universidad Nacional de La Matanza. tgoicoechea@alumno.unlam.edu.ar.*

*Monteros, Matias Javier. Universidad Nacional de La Matanza. mamonteros@alumno.unlam.edu.ar.*

*Niedfeld, Kevin Javier. Universidad Nacional de La Matanza. kniedfeld@alumno.unlam.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Gestión de arbolado urbano usando GIS

**Báscolo, Alejandro**
**Bazán García, Claudio Ezequiel**
**Ceccarelli, Pablo Alejandro**
**Gonella, María Sofía**
**Issolio, Tomás**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**
Se presenta el desarrollo de un sistema de información geográfica (GIS) que permite a las dependencias municipales encargadas del arbolado urbano realizar censados de árboles y espacios disponibles para plantar un árbol. El sistema posee funciones adicionales de monitoreo a partir de la recepción de denuncias realizadas por ciudadanos a través de la plataforma web, accesible desde dispositivos móviles, tablets, o computadoras, con el fin de identificar situaciones problemáticas que tendrá a disposición un mapa georreferenciado de distribución del arbolado en la ciudad. El sistema permitirá a la Municipalidad de San Miguel de Tucumán desempeñar un rol más efectivo para promover la conciencia ambiental, incentivar la participación ciudadana y fortalecer el trabajo articulado entre los distintos niveles del Estado e instituciones vinculadas al cuidado del ambiente.

**Palabras Clave**
GIS – ARBOLADO URBANO – CENSO FORESTAL – PARTICIPACIÓN CIUDADANA – GESTIÓN MUNICIPAL – IMÁGENES SATELITÁLES – MEDIO AMBIENTE

## Introducción

El arbolado urbano desempeña un papel esencial en la calidad de vida, el equilibrio ambiental y la sostenibilidad en las ciudades. Sin embargo, actualmente no existen herramientas tecnológicas que permitan acceder a información actualizada sobre el estado, ubicación, especies y condiciones de los árboles urbanos. Esta carencia impide una planificación efectiva, un mantenimiento oportuno y una correcta toma de decisiones por parte de las autoridades y la ciudadanía en general.
Este proyecto responde a una necesidad crítica: brindar acceso a información oportuna, clara y transparente sobre el arbolado urbano a ciudadanos, censistas y autoridades, optimizando recursos y mejorando la calidad de vida urbana.
La solución propuesta se sustenta en el uso de tecnología moderna y accesible como un smartphone con GPS, cámara de fotos y acceso a internet móvil o una computadora personal. Estas tecnologías son integradas en la mayoría de los dispositivos móviles y de uso extendido en la población, permitiendo la localización precisa de árboles y los problemas relacionados a estos, sin la necesidad de implementar infraestructura adicional costosa.
Asimismo, se incorpora un módulo de pre censado remoto basado en algoritmos de reconocimiento de imágenes satelitales. Esta funcionalidad, apoyada en la capacidad de procesamiento de servidores modernos, puede escalarse de manera flexible según la demanda. De igual manera, la base de datos del sistema, desplegada en la nube, admite el almacenamiento de grandes volúmenes de información y garantiza consultas rápidas y eficientes.
En este sentido, el proyecto no solo responde a una necesidad social, sino que también presenta una solución técnica viable y sostenible que aprovecha recursos tecnológicos ampliamente disponibles. Estas características permiten transformar la situación actual de la gestión del arbolado en Tucumán, optimizando el monitoreo, la planificación y la participación ciudadana mediante la integración de tecnología accesible.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por lo tanto, este proyecto se presenta como una propuesta innovadora, accesible, económica y técnicamente sólida para abordar las deficiencias en la gestión del arbolado urbano. Su implementación busca mejorar la planificación, el mantenimiento y la detección temprana de riesgos ambientales, al mismo tiempo que aprovecha los recursos tecnológicos disponibles.

**Antecedentes**

En los últimos años, el cuidado y la conservación del arbolado urbano ha cobrado mayor importancia en Argentina, a medida que se ha tomado conciencia de su importancia en la calidad de vida de las ciudades. En este contexto, se han llevado a cabo diferentes iniciativas y medidas para mejorar la gestión, el control del arbolado urbano y fomentar la participación ciudadana en su cuidado.

Una de las medidas llevadas a cabo para lograr con lo mencionado anteriormente ha sido la creación de diferentes herramientas tecnológicas algunas de ellas son las siguientes:

- *Arborea* es una aplicación desarrollada por el SIGA (Fundación ProYungas), que permite la identificación y conocimiento de los árboles, nativos y exóticos asilvestrados, del noroeste de Argentina. Permite la búsqueda de 275 especies de árboles, palmeras y cactus. [1]
- *iNaturalist* es la plataforma que permitirá promover la cultura de la observación, registro y divulgación de la biodiversidad, e impulsa la Base Nacional de Datos sobre Biodiversidad (BNDB). Con esta plataforma se podrá conocer más acerca de los ciclos de vida, distribución y dinámica poblacional de todas las especies que habitan en nuestro país. [2]
- *MuniArbolado* es una aplicación destinada a ciudadanos y a trabajadores municipales. Posibilita la geolocalización de cada árbol de la ciudad, permitiendo gestionar las intervenciones sobre cada uno y facilitando el planeamiento de nuevas plantaciones, generando un mapa del arbolado de la ciudad, detectando faltantes y riesgos. También educa e informa sobre la vegetación ideal para cada área a todos los ciudadanos. [3]
- En Córdoba se está buscando implementar una plataforma digital *"Forestando Córdoba"* para el censo y la geolocalización del arbolado urbano para generar información valiosa sobre el arbolado urbano y llevar adelante acciones de educación ambiental. Comenzando esta implementación por los municipios que integran el departamento Calamuchita. [4]

**Desarrollo**

**Análisis de requerimientos**

Para el desarrollo del GIS de arbolado urbano se adoptó un enfoque iterativo e incremental, complementado con prácticas de prototipado y elementos ágiles. Este enfoque se adoptó a las características del proyecto y a los recursos y tiempos disponibles. El proceso comenzó con un relevamiento inicial de los requisitos donde se planificaron entrevistas con personal de la Municipalidad de San Miguel de Tucumán donde se analizaron las necesidades tanto de los funcionarios gubernamentales como los posibles contribuyentes participantes del proyecto. Paralelamente se realizaron pruebas con prototipos para evaluar la factibilidad de implementar tecnologías que soportarían el core del proyecto como ser la implementación de mapas y el uso de la ubicación en tiempo real. Esta fase incluyó iteraciones técnicas donde se experimentaron diversas plataformas hasta seleccionar finalmente una solución completamente web y multiplataforma con Leaflet y JavaScript.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A lo largo del desarrollo se priorizaron los casos de uso más relevantes mediante un enfoque Kanban para organizar las tareas en función de su prioridad y avances. La implementación de funcionalidades se hizo de manera incremental por entregas en módulos.

Además, se diseñó un modelo de datos mapeando las tablas en clases ORM para gestionar las interacciones con PostgreSQL con Sequelize, lo que permitió estructurar la base de datos de manera eficiente. Las rutas del backend se construyeron iterativamente, verificando los datos y solicitudes mediante pruebas de integración tempranas antes de pasar al desarrollo final de las interfaces de usuario.

Este enfoque combinado fue el más adecuado para este proyecto debido a la adaptabilidad técnica, la priorización de funcionalidades y entregables requeridos por la cátedra y organización para realizar un seguimiento del proyecto.




Figura 1: Casos de uso del sistema

**Implementación**

Para la implementación, la plataforma fue bautizada como “TuArbol”. El desarrollo del sistema se basó en las siguientes tecnologías:

- Servidor de páginas web: Mediante el uso de Apache2 cómo servidor web HTTP para servir las páginas web, desarrolladas en JavaScript puro con las siguientes librerías:
  - Bootstrap para componentes visuales.
  - Leaflet para la gestión de mapas.
  - Chart.js para la creación de gráficos estadísticos.
  - Axios para simplificar las solicitudes al servidor back-end de API REST.
- Servidor de aplicación API REST: Mediante el uso de Node.js para crear un servidor con los siguientes paquetes:
  - Express.js para simplificar la creación de la API y creación de las distintas rutas (endpoints) del back-end.
  - PM2 para la ejecución del servidor.
  - JsonWebToken para generar token y cookies de sesión.
  - Bcrypt para la encriptación de contraseñas y variables de entorno.
  - Multer para el manejo de archivos de imágenes.
  - Node-cron para la ejecución de schedules programadas.
  - Sequelize para el mapeo de la base de datos en clases y objetos de programación.
- Servidor de Base de datos: Mediante el uso de PostgreSQL cómo motor de base de datos para el almacenamiento estático de los datos requeridos y generados por la aplicación.
- Servidor de procesamiento de imágenes: Mediante el uso de Python y la biblioteca DeepForest que proporciona herramientas para la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



detección de objetos y el análisis geoespacial en ecología, específicamente para analizar datos forestales. Esta biblioteca pre entrenada resultó simple de configurar y se encuentra optimizada para procesar imágenes satelitales que fueron necesarias para la prosecución del proyecto.

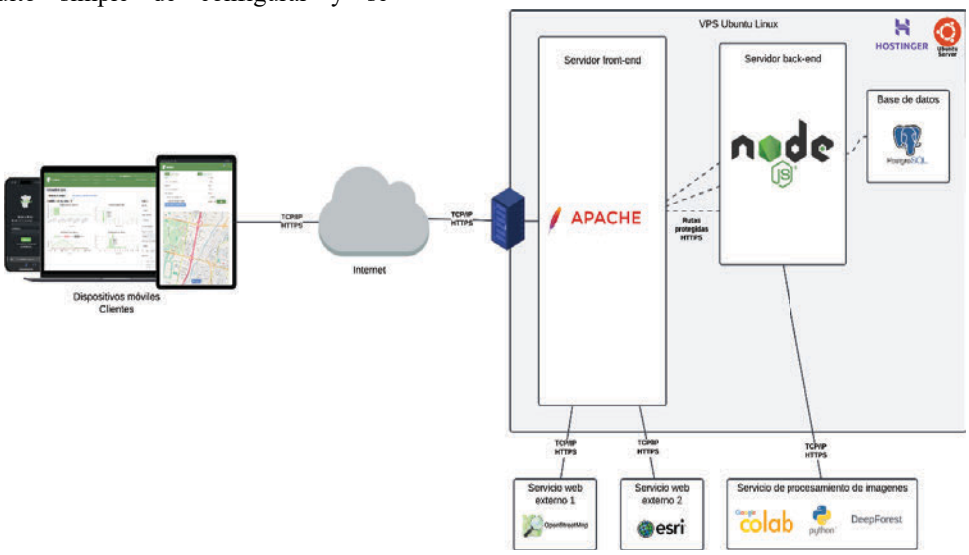



Figura 2: Diagrama de despliegue

**Interfaces**

El sistema produce y consume información proveniente de tres actores claramente diferenciados:

- Ciudadano: Quiere que la administración responsable del arbolado disponga de información estadística clave para gestionar el mismo.
- Censista: Quiere realizar aportes al sistema y que el administrador tenga un panorama claro de la situación actual.
- Administrador: Necesita tomar decisiones basadas en la evidencia a través de indicadores clave por medio del tablero de estadísticas.

A nivel ciudadano, la plataforma posee una página de registro que les permite crear una cuenta ingresando sus datos personales. Es un paso necesario para realizar denuncias y participar activamente en el sistema.
Una vez que se dieron de alta, la página Inicio de Sesión permite a los ciudadanos acceder al sistema ingresando su correo electrónico o nombre de usuario y contraseña registrados.




Figura 3: Interfaz de inicio de sesión

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A nivel censista, el sistema fue diseñado con la carga de la base de datos inicial que consistió en censar al menos 100 árboles y pre censar como mínimo otros 1000 árboles para dotar al prototipo de musculatura de datos para probar las interfaces e interacciones del sistema. Durante el pre censado se utilizó DeepForest que sirvió además para descartar falsos positivos censados remotamente a partir de un despliegue de mapa con censos normales y remotos de árboles.

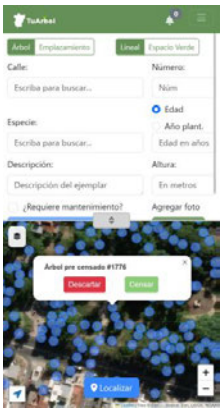



Figura 4: Pre censado

En la fase de Inspección, el censista completa la información de atributos del árbol pre censado incluyendo una foto del mismo para dejarlo formalmente asentado en la base de datos y disponible para uso del sistema.
El sistema desarrollado contempla un tablero de control donde se pueden visualizar métricas y estadísticas en tiempo real para la consulta y toma de decisiones por parte de las autoridades municipales.




Figura 5: Módulo de estadística

**Conclusiones y Trabajos Futuros**

Se identificó la necesidad de transformar la situación actual de la gestión del arbolado en Tucumán optimizando el monitoreo, la planificación y la participación ciudadana. Para ello se desarrolló una aplicación web como herramienta que permita a personas y entidades acceder a información relevante sobre el arbolado urbano e interactuar con denuncias para responder a una necesidad social ciudadana y de gestión gubernamental. Su implementación permitirá obtener un beneficio cuantitativo calculando un aumento en la colaboración y compromiso del ciudadano en un 30% dentro de 5 años y al mismo tiempo una disminución en los costos de mantenimiento del arbolado urbano en un 40% dentro de 3 años.
Todo esto irá acompañado con un aumento en la conciencia y educación ambiental para una mejor calidad de vida de las personas y una mayor planificación urbana y gestión respecto al arbolado de la ciudad que mejore la imagen de la ciudad.
Como trabajo futuro se contemplará la inclusión de soluciones basadas en inteligencia artificial y modelos predictivos con el fin de estimar el impacto ambiental en la plantación de ejemplares en determinada zona, la detección del tamaño en altura y ancho de los árboles y su especie mediante fotografías y la detección temprana de riesgo de caída de los mismos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



para mejorar el diagnóstico y prevención de incidentes.

**Referencias**

[1] SIGA Proyungas, “Google Play Store, Arborea”, [online] https://play.google.com/store/apps/details?id=org.siga.arborea&hl=es_AR&gl=US
[2] iNaturalist, “ArgentiNat. Contribuyendo a la biodiversidad del País”, [online] https://www.argentinat.org/
[3] Muniarbolado – “Página de inicio”, [online] https://www.muniarbol.com.ar/#/
[4] Expresión Norte, “La aplicación móvil que permite geolocalizar árboles en Córdoba”, [online] https://expresionnorte.com.ar/la-aplicacion-movil-que-permite-geolocalizar-arboles-en-cordoba/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Diseño de una Infraestructura Virtual para Educación con Autenticación de Múltiples Factores

**Ángel Arroyo, Belén Natiotis, Luis Patiño, Agustín Cad Forni y Miguel Méndez-Garabetti**

***Laboratorio de Investigación en Ciencia y Tecnología, Universidad del Aconcagua, Mendoza, Argentina.***

**Abstract**

*La ciberseguridad constituye un pilar fundamental en la arquitectura y administración de infraestructuras de computación, especialmente en entornos educativos que dependen de tecnologías de virtualización y servicios de red. Este trabajo describe el diseño de una infraestructura educativa virtual segura, basada en un ecosistema de soluciones de código abierto. Se realiza un análisis comparativo de sus ventajas, limitaciones y complejidad con el propósito de formular una solución robusta y flexible, adaptable a diversos contextos institucionales. La arquitectura integra tecnologías como Proxmox VE, Ubuntu Server, Wireguard, Guacamole Apache, Keycloak y Samba AD. La propuesta se distingue por su enfoque en la integración de autenticación multifactor (MFA), que incluye reconocimiento facial y cifrado de datos biométricos, promoviendo escalabilidad, seguridad y soberanía tecnológica en el ámbito educativo.*

**Palabras Clave**

Infraestructura virtual, ciberseguridad, autenticación multifactor, biometría, Proxmox, Samba, VPN, educación.

## Introducción

La inmersión de la educación superior en la era digital ha catalizado la adopción de infraestructuras virtualizadas. Estos entornos facilitan la enseñanza práctica en áreas como redes, ciberseguridad y desarrollo de software, ofreciendo espacios de trabajo controlados, flexibles y seguros. En este contexto, el trabajo se enfoca en el diseño de una infraestructura educativa integral que emplea tecnologías de código abierto para garantizar seguridad, escalabilidad y adaptabilidad a distintos escenarios académicos [1].

Se propone una arquitectura que articula herramientas como Proxmox VE para la virtualización, Samba Active Directory para la gestión de identidades, Keycloak como orquestador de autenticación y Wireguard para el acceso remoto seguro. Esta base se complementa con Ansible para la automatización del aprovisionamiento y Guacamole Apache para el acceso remoto a escritorios y aplicaciones, brindando a los estudiantes una experiencia práctica remota y escalable [2].

Proxmox VE se erige como una plataforma robusta, destacando por su estabilidad operativa, compatibilidad con almacenamiento en red, gestión centralizada vía web y soporte para clústeres de alta disponibilidad (HA), posicionándose como alternativa viable frente a soluciones propietarias [3].

Para la gestión de identidades, se implementa Samba 4 como controlador de dominio, emulando la funcionalidad de Microsoft Active Directory en sistemas Linux. Esta elección permite administración centralizada de usuarios, políticas de grupo (GPOs) y servicios esenciales como DNS y Kerberos, constituyendo una alternativa libre y completa a soluciones tradicionales basadas en Windows Server [4].

## Antecedentes y Estado del Arte

La construcción de la arquitectura propuesta se sustenta en trabajos previos que han validado la eficacia de sus componentes. En el ámbito de la virtualización, plataformas como Proxmox VE han sido analizadas por su eficiencia y bajo coste [3], posicionándose como alternativas sólidas a soluciones propietarias en entornos académicos y empresariales.

En gestión de identidades, el uso de Samba como controlador de dominio ha sido docu-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mentado extensamente, demostrando su capacidad para replicar funcionalidades de Active Directory en entornos Linux [4].
Para garantizar acceso seguro, soluciones de VPN libres como Wireguard han sido evaluadas por su rendimiento y robustez criptográfica, superando a protocolos más antiguos [5].
El acceso remoto se realiza mediante Guacamole Apache, compatible con múltiples protocolos [2].
Finalmente, el componente biométrico de nuestra propuesta se inspira en investigaciones sobre técnicas de reconocimiento facial [6], que sientan bases para su aplicación como factor de autenticación seguro y de baja fricción. Aunque estos trabajos abordan los componentes de manera aislada, existe una brecha en la literatura respecto a la integración holística de estas tecnologías en un ecosistema educativo unificado.
Este proyecto busca cerrar esa brecha, proponiendo una arquitectura coherente y funcional.

**Arquitectura Propuesta**

La infraestructura se fundamenta en un diseño modular y escalable, orquestado sobre la plataforma de virtualización Proxmox VE 8.4.x. La implementación inicial consta de dos servidores físicos: un nodo principal que aloja las máquinas virtuales (VMs) y servicios críticos, y un servidor secundario dedicado a la realización de copias de seguridad con Proxmox Backup Server. Se contempla la futura expansión a un clúster de alta disponibilidad (HA) con la adición de al menos dos nodos más.

**Componentes Críticos y Servicios Virtualizados**

La arquitectura incluye los siguientes servicios, cada uno encapsulado en una máquina virtual o contenedor para maximizar modularidad y seguridad:

- **Controlador de Dominio (Samba AD):** Constituye el núcleo de la gestión de identidades, responsable del almacenamiento seguro de credenciales de usuario, grupos y políticas de acceso (GPOs). Gestiona la autenticación primaria de manera centralizada.

- **Orquestador de Autenticación (Keycloak):** Actúa como un intermediario que federa la identidad. Consulta a Samba AD para la validación de credenciales primarias y gestiona la autenticación multifactor (MFA), incluyendo la lógica para el factor biométrico.

- **Motor de Automatización (Ansible):** Realiza el aprovisionamiento y configuración automática de VMs personalizadas para cada estudiante, asegurando entornos homogéneos con los recursos y software necesarios. Esta automatización reduce errores, acelera la implementación y permite gestionar múltiples entornos de forma eficiente.

- **Gateway de Acceso Seguro (WireGuard VPN):** Establece un canal de comunicación cifrado para el acceso remoto de los usuarios al entorno educativo virtual. Emplea criptografía moderna para proteger la integridad de los datos y destaca por su eficiencia, simplicidad de configuración y bajo consumo de recursos, lo que lo convierte en una solución ideal para entornos académicos.

- **Acceso a Entorno Gráfico (Guacamole Apache):** Proporciona acceso web al escritorio remoto mediante XRDP, sin necesidad de cliente RDP local. Permite a los estudiantes conectarse desde cualquier navegador moderno, simplificando el acceso remoto. Su compatibilidad con múltiples protocolos y la integración con sistemas de autenticación lo hacen una herramienta segura y flexible para entornos educativos.

- **Servicio Biométrico:** Un microservicio desarrollado en Python con OpenCV que funciona como segundo factor de autenticación. Es invocado por Keycloak durante el flujo de login para realizar la verificación facial.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Flujo de Autenticación y Proceso de Ejecución**

Para robustecer el inicio de sesión, se implementa un flujo de autenticación federado. Samba AD actúa como proveedor de identidad (IdP) primario, mientras que Keycloak orquesta el proceso, añadiendo la capa de MFA. Este desacoplamiento permite mayor modularidad y seguridad.

El flujo completo se describe a continuación:

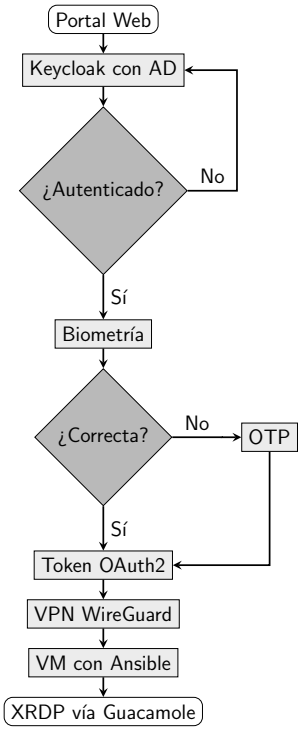



Figura 1: Flujo de autenticación y aprovisionamiento simplificado.

1. El estudiante accede a través de un portal web unificado, que lo redirige al servicio de login de Keycloak.
2. Keycloak delega la validación de usuario y contraseña al Controlador de Dominio Samba AD. Samba 4, que emula la funcionalidad de Microsoft Active Directory, gestiona de manera centralizada usuarios, políticas de grupo (GPOs), DNS y Kerberos. Esta validación puede realizarse mediante Kerberos o LDAP.
3. Si las credenciales primarias son válidas, Keycloak invoca al Servicio Biométrico (un microservicio en Python con OpenCV) para el segundo factor (reconocimiento facial). Se captura una imagen en tiempo real y se compara con la plantilla biométrica cifrada.
4. Si la verificación biométrica falla o el dispositivo no tiene cámara, el sistema ofrece un mecanismo de respaldo, como un código de un solo uso (OTP).
5. Una vez completada la verificación de identidad, Keycloak emite un token de acceso (ej. JWT) bajo el estándar OAuth2/OIDC.
6. Con el token validado, se establece automáticamente un túnel VPN mediante WireGuard. WireGuard utiliza criptografía moderna para asegurar el canal de comunicación, garantizando el cifrado de red.
7. De forma transparente para el usuario, Ansible ejecuta un playbook que aprovisiona o inicia la VM asignada al estudiante con los recursos y software predefinidos.
8. El sistema redirige al estudiante a su sesión de escritorio remoto vía Guacamole Apache. Guacamole proporciona acceso web al escritorio (via XRDP) sin requerir un cliente RDP local. Guacamole usa un demonio (guacd) para hacer abstracción de los protocolos subyacentes (VNC, RDP, SSH, etc.).

**Mecanismos de Cifrado y Gestión de Datos Biométricos**

El Servicio Biométrico opera como un microservicio en Python utilizando OpenCV. La gestión de los datos biométricos (características físicas estáticas de los individuos utilizadas para determinar o verificar su autenticidad) es crítica para la seguridad.

1. **Cifrado de Plantillas Biométricas**: El sistema implementa la verificación facial comparando la captura en tiempo real con una plantilla biométrica cifrada almacenada previamente. Los datos biométricos se encuentran representados a menudo como imágenes digitales o vectores de alta dimensión. Es fundamental aplicar cifrado robusto sobre estas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



plantillas para prevenir su reconstrucción o acceso no autorizado.

2. **Seguridad y Privacidad de los Datos**: La gestión de datos biométricos debe garantizar la seguridad de los datos y la privacidad desde el diseño. El sistema debe asegurar la capacidad de eliminar completamente todos los datos del usuario. La implementación se inspira en el trabajo de reconocimiento facial realizado en Python [6], el cual analiza el comportamiento de los algoritmos Eigenfaces (Análisis de Componentes Principales), Fisherfaces (Análisis Discriminante Lineal) y LBPH (Histogramas de Patrones Binarios Locales).
3. **Seguridad contra Suplantación de Identidad (Anti-Spoofing)**: Un sistema de reconocimiento facial básico en 2D es vulnerable a la suplantación mediante fotografías o máscaras. A futuro, se evalúa la posibilidad de incorporar técnicas avanzadas para combatir la suplantación de identidad (anti-spoofing). Estas incluyen:

- **Detección de Parpadeo (Eye Blink)**: Un algoritmo en tiempo real que detecta el parpadeo utilizando el indicador EAR (Eye Aspect Ratio), que mide la distancia entre los párpados. .
- **Uso de Cámaras 3D**: Estas analizan la profundidad de los rasgos faciales, siendo un método más eficiente y seguro contra la suplantación con imágenes impresas, además de mejorar el reconocimiento bajo ángulos o inclinaciones .
- **Doble Control Biométrico**: Añadir un segundo sistema (por ejemplo, huella dactilar o reconocimiento de voz) hace ”muy complicado suplantar varios rasgos físicos a la vez”, aumentando la seguridad del servicio.

**Estrategia de Seguridad y Autenticación**
La seguridad de la infraestructura se concibe bajo un modelo de ”defensa en profundidad”(*defense in depth*), que combina múltiples capas de protección:

- **Cifrado de Red:** El acceso externo se asegura mediante el túnel VPN WireGuard, que utiliza criptografía moderna.
- **Autenticación de Dominio:** La validación primaria de credenciales se centraliza en Samba AD, aplicando políticas de contraseñas robustas.
- **Autenticación Multifactor (MFA):** El reconocimiento facial, gestionado por Keycloak, actúa como segundo factor de autenticación, elevando la barrera contra accesos no autorizados.

Para validar empíricamente la eficacia del diseño, se llevarán a cabo pruebas de rendimiento y seguridad que cubran los componentes de autenticación y la infraestructura virtual.

**Validación del Componente Biométrico y de Autenticación**
El microservicio de reconocimiento facial, basado en Python y OpenCV, será sometido a análisis detallado, en línea con estudios comparativos realizados sobre métodos biométricos.

**Métricas de Rendimiento del Flujo de Autenticación (Sistema General)**
1. Latencia de inicio de sesión: Medir el tiempo total requerido para completar el proceso, comparando el flujo con MFA biométrica activa y el flujo sin biometría.
2. Carga Computacional (Computational Load): Evaluar el consumo de recursos (CPU, RAM) del servidor de Keycloak y del Servicio Biométrico durante picos de autenticación y aprovisionamiento.

**Métricas de Seguridad y Precisión Biométricas**
Para evaluar la precisión del sistema de reconocimiento facial, se utilizarán las métricas clásicas:

1. **Tasa de Falsos Positivos (FPR)** y **Tasa de Falsos Negativos (FNR)** del sistema biométrico.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



2. **Ratio de Éxito (Tasa de Acierto)**: Determinar la relación entre las predicciones correctas y el número total de imágenes de prueba.
3. **Tiempo de Ejecución del Test**: Medir el tiempo que tarda el microservicio biométrico en predecir o verificar una identidad.
4. **Media de la Distancia Euclídea**: Este valor puede usarse como un indicador de confianza del reconocimiento. El análisis busca demostrar que la distancia disminuye (la confianza aumenta) a medida que hay más información del sujeto durante el entrenamiento (training).
5. **Robustez**: Se evaluará la robustez frente a los fenómenos de overfitting (cuando el algoritmo, al recibir más información, no aumenta el porcentaje de aciertos, sino que disminuye) y underfitting (cuando no tiene suficiente información para hacer la predicción con éxito).

**Validación del Rendimiento de la Infraestructura Virtual**

El análisis de la infraestructura de virtualización (Proxmox VE, Ansible, WireGuard, Guacamole) se enfocará en medir la eficiencia y la escalabilidad, tal como se realiza en estudios sobre plataformas de virtualización.

1. **Rendimiento de la Virtualización (Proxmox VE)**: Se evaluará la eficiencia del software en función de la cantidad de recursos utilizados. Esto es crucial para garantizar la optimización del hardware y la escalabilidad de la solución. Se simulará la carga de trabajo de múltiples estudiantes accediendo a sus VMs de proceso. Proxmox VE proporciona una interfaz web amigable y fácil de usar para administrar todas las funcionalidades disponibles.
2. **Pruebas de Fiabilidad y Alta Disponibilidad (HA)**: Se verificará la ductilidad del clúster de Proxmox VE, probando las funcionalidades de alta disponibilidad y migración de máquinas virtuales para asegurar que el servicio sea permanente.
3. **Pruebas de Funcionalidad de Red (WireGuard y Guacamole)**: Se validará la configuración de red para la comunicación interna y externa de las máquinas virtuales. Se debe confirmar que WireGuard establece correctamente el canal cifrado y que Guacamole Apache permite el acceso remoto gráfico eficiente a través de protocolos como XRDP.

**Líneas Futuras de Investigación**

Las futuras líneas de trabajo derivadas de este proyecto incluyen:

- **Integración de Modalidades Biométricas Adicionales:** Explorar reconocimiento de voz o huella dactilar para mayor flexibilidad en la MFA.
- **Compatibilidad con Dispositivos Móviles:** Optimizar el flujo de autenticación y acceso para uso nativo en smartphones y tabletas.
- **Análisis de Comportamiento del Usuario (UBA):** Implementar modelos de inteligencia artificial para detectar en tiempo real comportamientos anómalos que indiquen posibles brechas de seguridad.

**Conclusiones**

El presente trabajo ha detallado el diseño y arquitectura de un entorno educativo virtual que combina tecnologías de código abierto para lograr un sistema seguro, escalable y funcional. La autenticación multifactor con reconocimiento facial, gestionada por Keycloak y validada por Samba AD, fortalece la seguridad del acceso. El aprovisionamiento automatizado con Ansible y el acceso remoto vía Guacamole Apache mejoran la experiencia y escalabilidad del sistema. Esta propuesta demuestra la viabilidad de construir soluciones educativas avanzadas, seguras y soberanas tecnológicamente, incluso en contextos con recursos limitados, sentando bases sólidas para futuras investigaciones en educación virtualizada y ciberseguridad aplicada.

**Referencias**

[1] E. Villar, “Introducción a la virtualización,” 2024.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[2] J. Suárez Suárez, "Acceso remoto a los sistemas informáticos de los laboratorios docentes basado en apache guacamole," 2022.
[3] M. R. Álvarez, "Análisis de la plataforma proxmox como alternativa de software libre para virtualización de servidores," 2023.
[4] U. de Murcia, *Crear un controlador de dominio de Active Directory con Samba en Ubuntu 20.04*, 2019.
[5] L. M. Quishpe Iza, "Implementación de una red privada virtual (vpn) utilizando herramientas de software libre," 2021.
[6] D. C. Mari, "Análisis de un sistema de reconocimiento facial a partir de una base de datos realizado mediante python," 2020.

**Agradecimientos**

Los autores expresamos nuestro sincero agradecimiento al Laboratorio de Investigación en Ciencia y Tecnología (LICT) de la Universidad del Aconcagua (UDA) por el soporte institucional, los recursos proporcionados y el ambiente de trabajo que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.
Un reconocimiento especial al Dr. Miguel Méndez-Garabetti por su invaluable guía, tutoría experta y apoyo constante, elementos esenciales para la concreción del presente trabajo.

**Datos de Contacto**

- Angel Arroyo. Universidad del Aconcagua. angel@redes.net.ar.
- Belén Natiotis. Universidad del Aconcagua. belh.n16@gmail.com.
- Luis Patiño. Universidad del Aconcagua. patino.luisagustin@gmail.com.
- Agustín Cad Forni. Universidad del Aconcagua. agustincad123@gmail.com.
- Miguel Méndez-Garabetti. Universidad del Aconcagua. mmendez@uda.edu.ar.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Hacia una herramienta de participación ciudadana: primeros pasos en el diseño de una aplicación para opinar sobre asuntos urbanos

Gabriela Aranda[1,2] , Nahuel Mamani[1,2]
[1] Facultad de Informática. Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400, (8300) Neuquén
[2] GIISCo, Grupo de Investigación en Ingeniería de Software del Comahue
{gabriela.aranda, nahuel.mamani}@fi.uncoma.edu.ar

## Resumen

*En los últimos tiempos, con el crecimiento de los centros urbanos, también se han incrementado y complejizado sus problemáticas y desafíos. Para generar soluciones que satisfagan las necesidades reales de los ciudadanos, resulta fundamental integrarlos en la toma de decisiones de los organismos gubernamentales. Una forma de incrementar dicho nivel de participación y su efectividad, es mediante la incorporación de las tecnologías. En la actualidad, en Argentina, son reducidas las iniciativas de participación ciudadana mediadas por tecnologías, y por lo general se limitan a realizar reclamos. En este trabajo, realizado en el marco de una tesis de Licenciatura en Ciencias de la Computación, se presenta una propuesta de un sistema web open source que busca permitir a los funcionarios municipales gestionar encuestas y votaciones sobre diferentes asuntos urbanos, que puedan ser respondidas desde una aplicación web accesible desde cualquier navegador, con el objetivo de que la información recabada sirva como un insumo valioso para la toma de decisiones.*

## Introducción

El gran crecimiento de las ciudades en las últimas décadas trajo como consecuencia un incremento en la cantidad y complejidad de los problemas y desafíos urbanos [1]. Incluir a los ciudadanos en la toma de decisiones urbanísticas es fundamental para soluciones efectivas y adaptadas a las necesidades reales [2]. Con esta finalidad, los municipios pueden organizar diversos eventos como consultas públicas, reuniones abiertas y debates [3]. Tradicionalmente, estas iniciativas se realizan en formato presencial, lo cual tiene asociadas un conjunto de limitaciones que dificultan lograr una participación masiva [4]. En este escenario, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se presentan como herramientas clave para facilitar el acceso a la información, la comunicación y la participación de una mayor diversidad de residentes, haciendo que los procesos de toma de decisiones sean más inclusivos y eficientes [5].

En particular, en Argentina, varios municipios han implementado aplicaciones móviles a través de las cuales ofrecer a los ciudadanos una vía de participación, aunque en la mayoría de los casos esta se limita a la realización de reportes/reclamos.

Con el objetivo de facilitar la participación de los ciudadanos y su incidencia en los procesos de toma de decisiones sobre diversos asuntos urbanos, hemos diseñado un prototipo de sistema web open source que permitirá, tanto a funcionarios municipales como a consultores, gestionar encuestas y votaciones adaptables a diversos públicos y situaciones. Las mismas podrán ser respondidas por los ciudadanos desde una aplicación web accesible directamente desde cualquier navegador. Dicho diseño se ha realizado teniendo en cuenta una serie de criterios técnicos que son primordiales para la efectividad de este tipo de aplicaciones, tal como se explicará en las siguientes secciones.

El resto del documento se organiza de la siguiente manera: en primer lugar se realiza un resumen sobre los conceptos básicos de participación ciudadana, de acuerdo a los estándares y la bibliografía de referencia, así como los criterios técnicos que se consideraron básicos para el desarrollo de aplicaciones con dicho fin. A continuación se presenta el diseño de la arquitectura de la aplicación a construir y el diseño preliminar de las interfaces para el usuario. Posteriormente, se efectúa una comparativa con otros sistemas similares y se presentan conclusiones preliminares y tareas planificadas a futuro.

## Contexto

A continuación se presentan los conceptos básicos y definiciones principales sobre el objeto de estudio de esta investigación, enfocada en la e-participación ciudadana.

### Participación Ciudadana

Las democracias liberales representativas en todo el mundo están amenazadas por un déficit democrático y experimentan una disminución en la participación, la confianza y el apoyo a los canales democráticos representativos tradicionales [6]. En un contexto de bajos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



niveles de confianza y disociación de las instituciones democráticas tradicionales, los ciudadanos esperan que las instituciones públicas sean más representativas de sus intereses y necesidades [7]. En muchos sistemas representativos de gobierno existe consenso en que, más allá de la oportunidad ocasional de votar por sus representantes en los gobiernos nacionales, regionales y locales, se debe permitir e incluso alentar a los ciudadanos a participar en las decisiones que los afectan [8].

En este contexto, se define como *participación ciudadana* al involucramiento de individuos y grupos que están fuera del proceso formal de toma de decisiones del gobierno y las autoridades locales, buscando incorporar al proceso las opiniones de todos los grupos o partes interesadas y/o afectadas, ya sean comunidades locales, residentes, visitantes, propietarios de tierras, grupos desfavorecidos o especialistas, junto con organismos representativos elegidos democráticamente [9]. Garantizar que se tengan en cuenta una amplia variedad de opiniones ayuda a quienes toman decisiones a comprender mejor las interrelaciones y la naturaleza de los problemas, para ofrecer soluciones que reflejen mejor los intereses y deseos del público [10].

La participación ciudadana es un aspecto clave para fortalecer la gobernabilidad democrática. Garantiza que el gobierno sea representativo y receptivo a las necesidades e intereses de sus ciudadanos. Fomenta la legitimidad, la transparencia, la rendición de cuentas y la inclusión social. Promueve la educación sobre el gobierno y las políticas. Además, la participación ciudadana contribuye al desarrollo de políticas más informadas, y aumenta la aceptación y el apoyo a decisiones (potencialmente impopulares) [11].

Las iniciativas de participación ciudadana se dan principalmente en ámbitos locales, ya que resultan más tangibles y relevantes para la vida cotidiana de los ciudadanos, fomentando una participación más directa y posibilitando procesos de toma de decisiones más personalizados [12]. Existen diferentes formatos en las que pueden realizarse, entre ellos consultas públicas, encuestas, audiencias, asambleas y reuniones públicas. Las problemáticas abordadas generalmente están relacionadas con áreas como planeamiento urbano, infraestructura, transporte, educación, salud, ambiente y seguridad [3].

No obstante, los mecanismos más tradicionales de participación ciudadana poseen una serie de limitaciones que impiden que más personas se involucren en los mismos. Algunas de ellas están relacionadas con la presencialidad que estos eventos requieren, como por ejemplo la distancia geográfica, la accesibilidad física, las limitaciones de tiempo y la falta de personal capacitado y de recursos para su realización. Otras limitaciones son la carencia de interés y de la información necesaria por parte del público para una participación más activa e informada, la complejidad de los procesos y su poca influencia en la toma de decisiones [4].

## Participación electrónica

El notable desarrollo y la expansión de las TIC en las últimas décadas, especialmente a través de Internet, han transformado de manera significativa la forma en que individuos, organizaciones y gobiernos se comunican e interactúan [13].

Motivados por el potencial de las TIC, un número creciente de gobiernos ha optado por implementar herramientas basadas en estas tecnologías con diversos propósitos, como mejorar la eficiencia, la eficacia y la transparencia, así como fomentar un mayor acercamiento e interacción con la ciudadanía [14].

Esta integración tecnológica se extiende a los procesos de participación ciudadana tradicionales, dando origen al concepto de participación electrónica (e-participación). La e-participación se define entonces como el proceso de involucrar a los ciudadanos en la toma de decisiones a través del uso de las TIC, con el fin de lograr una administración pública más participativa, inclusiva, colaborativa y deliberativa [15]. Tomando como base la participación ciudadana, la e-participación puede considerarse una extensión y una transformación de la misma, gracias al empleo de las TIC [16].

La e-participación surge entonces como una solución efectiva a las limitaciones de los métodos tradicionales. Al integrar plataformas digitales, la ciudadanía puede participar en cualquier momento y lugar, contribuyendo así a un acceso más universal. La incorporación de esta tecnología también facilita procesos participativos más ágiles, informados, eficientes y económicos, además de ofrecer una mayor transparencia y visibilidad de las propuestas y sus resultados [4].

Con el propósito de mejorar el proceso participativo de toma de decisiones, la e-participación cuenta con los siguientes objetivos [17]:

- atraer e involucrar a un público más amplio en el proceso participativo
- proveer información relevante que sea más accesible y fácil de entender por el público al que va dirigido, permitiendo así una participación más informada
- facilitar a los responsables políticos el análisis de las contribuciones realizadas por el público
- proporcionar a la ciudadanía una retroalimentación apropiada que garantice la apertura y la transparencia en el proceso
- monitorear y evaluar el proceso para garantizar la mejora continua

Si bien la tecnología facilita diversos aspectos, por sí sola no constituye una solución completa. Por el contrario, existen barreras para la integración de la e-participación que van más allá de lo tecnológico, y que se vinculan con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



factores socioeconómicos, culturales, organizacionales y constitucionales. Por ello, la e-participación debe ser vista como una vía complementaria de participación, que requiere ser respaldada e integrada con otras actividades presenciales ("offline") [18].

### Criterios técnicos para el diseño de sistemas de e-participación

El diseño de un sistema de participación electrónica requiere considerar un conjunto de criterios técnicos que son clave para su efectividad y éxito a largo plazo. Estos criterios no sólo garantizan que la plataforma funcione correctamente, sino que también fomentan una participación amplia, inclusiva y segura. A continuación, se presentan los aspectos técnicos más relevantes [19, 20, 21, 22, 23]:

- *Accesibilidad*: implica que la plataforma sea usable para la mayor cantidad de personas posible, sin importar sus habilidades físicas, sensoriales o cognitivas, ni las tecnologías que utilicen. Un sistema accesible debe ser funcional para usuarios con discapacidades, permitiéndoles navegar, comprender e interactuar con la plataforma de manera autónoma y equitativa. También, para aquellos usuarios con dispositivos más antiguos o quienes experimenten una conectividad a internet deficiente.
- *Usabilidad*: porque una app de e-participación debe ser intuitiva y simple para todos los usuarios, sin importar sus habilidades tecnológicas. Un diseño de interfaz claro y una navegación lógica son esenciales para minimizar la curva de aprendizaje y alentar la participación.
- *Seguridad y privacidad*: al manejar datos sensibles y buscar proteger el anonimato de los usuarios, los sistemas de participación electrónica requieren implementar medidas de seguridad robustas para salvaguardar la información personal y la integridad de los datos. Entre estas medidas se incluyen el uso de protocolos de encriptación y transferencia segura de datos (como HTTPS), incorporación de validaciones para impedir repuestas automáticas (por ejemplo CAPTCHA) o la manipulación de resultados, controles de acceso y la implementación de políticas de privacidad de datos claras.
- *Interoperabilidad*: se refiere a la capacidad del sistema de intercambiar información de manera segura y eficiente, facilitando la colaboración entre distintas organizaciones y con la ciudadanía. Esto se logra mediante el uso de estándares abiertos y APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones).

## Propuesta de una aplicación open source para la e-participación

Actualmente en Argentina, un número importante de municipios están poniendo a disposición de sus ciudadanos aplicaciones móviles, a través de las cuales les otorgan cierto grado de participación. Entre ellas se pueden mencionar a San Isidro Digital [24], App Ciudadana [25] y a la app de la Municipalidad de Corrientes [26].

Sin embargo, en la mayoría de estas aplicaciones se han detectado los siguientes inconvenientes:

- La influencia de la participación es baja, ya que solo permiten realizar reportes/reclamos sobre diferentes incidencias/problemas que se encuentren en la ciudad.
- No son de código abierto, lo que impide conocer detalles sobre su implementación y manejo de los datos.
- Requieren que el ciudadano deba registrarse para su uso, por lo que existe la posibilidad que se pierda el anonimato.
- Están disponibles en formatos de aplicaciones móviles, por lo que no pueden ser usadas directamente sino que previamente deben ser descargadas para su uso

Con el objetivo de solventar algunos de estos inconvenientes, y tomando en cuenta los criterios para la construcción de aplicaciones de e-participación, hemos diseñado un prototipo de un sistema de participación electrónica local a través del cual los ciudadanos no se limiten solo a efectuar reclamos, sino que puedan formar parte de tomas de decisiones sobre distintos asuntos urbanos. El sistema se basa en tecnologías web libres y de código abierto, pudiendo ser utilizado desde cualquier dispositivo electrónico que cuente con navegador web, sin necesidad de realizar descargas ni instalaciones previas, lo que facilita su accesibilidad.

En el sistema propuesto se distinguen dos componentes principales:

- *El panel de administración*: destinado a funcionarios municipales, que permite gestionar encuestas y/o votaciones, visualizar en detalle los resultados de las mismas, y exportarlos en distintos formatos (csv, txt, json, etc.) para su posterior utilización en otras aplicaciones. También podrán aportar una retroalimentación sobre cada encuesta finalizada, en base a los resultados obtenidos,
- *La app*: desde la cual la ciudadanía podrá contestar las encuestas disponibles, acceder a resultados de encuestas ya finalizadas, y a su correspondiente feedback proporcionado desde el lado del municipio. No requiere registro ni inicio de sesión para su uso.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Desde el panel, es posible generar encuestas altamente personalizables que se adapten a diferentes públicos y situaciones. Se incluyen preguntas de tipo elección múltiple, puntuación (escala del 1 al 5), texto libre (con límite de caracteres) y selección de una ubicación en un mapa interactivo, lo que resulta intuitivo para indicar lugares específicos. Para las preguntas de puntuación, se ofrecen diversas opciones de representación: caras, estrellas o números. Asimismo, cada pregunta admite la integración de recursos como imágenes y textos de ayuda para facilitar su comprensión.

Cuando una encuesta se relacione con una ubicación geográfica específica, desde el panel de control se puede generar un código QR que sirva de acceso directo a la misma. Este código se puede colocar en puntos estratégicos para que los usuarios lo escaneen y accedan directamente a la encuesta desde la aplicación.

Optimizada para dispositivos móviles, la app ofrece una gran flexibilidad que permite a los usuarios participar en encuestas desde cualquier lugar y en cualquier momento. Esto facilita una mayor tasa de participación y un volumen de respuestas más elevado. Con el fin de garantizar el anonimato de los usuarios, el uso de la app no requiere registro ni inicio de sesión. No obstante, para evitar respuestas automatizadas o duplicadas, cada encuesta incorpora una validación CAPTCHA.

### 3.1. Arquitectura del sistema

A nivel general, el sistema sigue el modelo cliente-servidor, contando con un backend y dos frontends, que corresponden al panel de administrador y la app, tal como se muestra en la Figura 1. Esta separación favorece características del sistema tales como modificabilidad, escalabilidad y flexibilidad. La comunicación entre los clientes y el servidor se realiza via protocolo *http*, intercambiando mensajes en formato json.

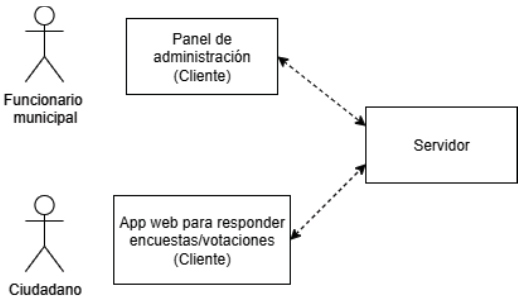



**Figura 1. Vista general del sistema**

El backend posee una arquitectura basada en capas [27] tal como se ve en la Figura 2, donde cada capa tiene las siguientes funciones:

- *Capa de presentación*: expone a los clientes las funcionalidades del backend mediante una *api rest*.
- *Capa de lógica de negocio*: contiene la lógica de la aplicación y las reglas de negocio. Procesa las peticiones de la capa de presentación.
- *Capa de acceso a datos*: interactúa directamente con la base de datos, recuperando y guardando los datos según lo solicitado por la capa anterior.

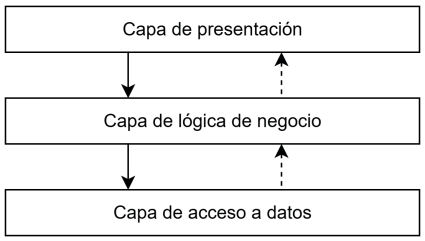



**Figura 2. Arquitectura del servidor**

Por su parte, cada frontend sigue una arquitectura Modelo-Vista-VistaModelo [28] (como se muestra en la Figura 3), donde:

- *Modelo*: representa los datos y la lógica de negocio. No tiene interacción alguna con la vista.
- *Vista*: es la interfaz gráfica con la que el usuario interactúa, y se encarga de mostrar la información.
- *VistaModelo*: actúa como intermediario entre la Vista y el Modelo. Expone datos y comandos para ser accedidos por la Vista, transformando los datos a un formato adecuado para su visualización en la misma. También gestiona la lógica de visualización de la Vista y su estado y comportamiento. La capa VistaModelo se comunica con el Modelo para obtener o actualizar datos y notifica a la Vista cualquier cambio, lo que permite actualizaciones dinámicas.




**Figura 3. Arquitectura del cliente**

### Diseño de las interfaces de usuario

A continuación se presentan los diseños preliminares de algunas de las vistas de la aplicación. Para esto, se tomará como referencia el caso de completar una encuesta para opinar sobre algún lugar de la ciudad, tal como un parque/plaza.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Una de las decisiones que se han tomado al diseñar la interfaz es la de mostrar una sola pregunta por pantalla. De esta manera, se busca no sobrecargar la vista y que el usuario se centre en un solo tema a la vez.

En la Figura 4 se muestra una pregunta de tipo "selección de ubicación", en la cuál se despliega un mapa y sobre el cual el usuario debe indicar la localización del lugar sobre el que va a opinar. La Figura 5 presenta una pregunta de tipo "opción múltiple", donde el usuario debe seleccionar una de las opciones propuestas. En la Figura 6, se observa una pregunta de tipo "puntuación", donde el usuario debe dar una calificación en una escala del 1 al 5, donde 1 representa "muy malo" y 5 es "muy bueno". En este caso, se utilizan "estrellas" para representar los puntajes de una forma más gráfica. Tanto en la Figura 5 como en la Figura 6, las preguntas están acompañadas de imágenes que permiten mejorar su comprensión. Una pregunta de tipo "texto libre" se muestra en la Figura 7, generalmente usada al final de la encuesta para permitir agregar opiniones/comentarios extra que complementen a las respuestas anteriores.

Finalmente en la Figura 8 se muestra la pantalla de "encuesta finalizada", a través de la cual se busca transmitir la gran importancia de la colaboración realizada por el usuario y motivarlo a responder nuevas encuestas a futuro.




**Figura 4. Pregunta de tipo "Selección de ubicación"**

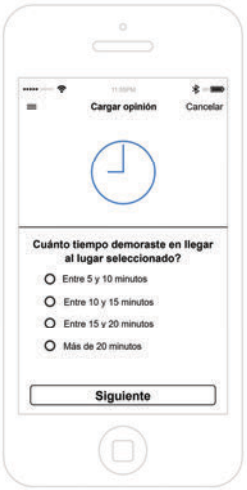



**Figura 5. Pregunta de tipo "Selección múltiple"**

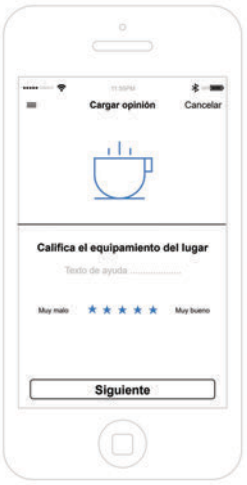



**Figura 6. Pregunta de tipo "Puntuación"**

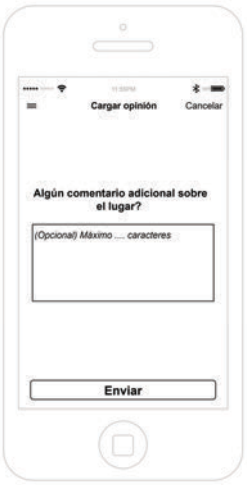



**Figura 7. Pregunta de tipo "Texto libre"**

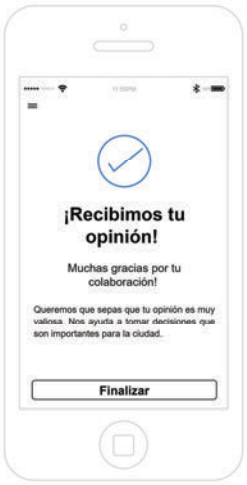



**Figura 8. Pantalla de"Encuesta finalizada"**

## Trabajos relacionados

Entre los sistemas open source de participación electrónica similares al propuesto en la sección anterior, se destacan Decidim [29] y Consul [30]. Ambos proyectos se encuentran activos en la actualidad y desplegados en varias ciudades y regiones de distintas partes del mundo.

Consul es una plataforma creada por el Ayuntamiento de Madrid en 2015, actualmente mantenida por la comunidad de software libre junto con la fundación Consul

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Democracy [31], que es utilizada en más de 250 ciudades y organizaciones a nivel mundial. Por su parte, Decidim surgió en 2016 como una bifurcación de Consul, liderada por el Ayuntamiento de Barcelona. Aunque la plataforma fue reescrita por completo en 2017, hoy en día está implementada en aproximadamente 470 organizaciones e instituciones en todo el mundo. Un ejemplo notable en Argentina es la plataforma "Rosario Participa" [32], una iniciativa del municipio de Rosario que surgió en 2020 y que se implementa a través de Decidim.

Al igual que el sistema propuesto en este trabajo, Consul y Decidim son plataformas de software libre y de código abierto que buscan fomentar la participación ciudadana en los procesos democráticos. Los tres sistemas destacan por su alto nivel de personalización, lo que les permite adaptarse sin problemas a una gran variedad de dominios e instituciones/organizaciones. Otra coincidencia es su implementación basada en tecnologías web, siendo accesibles desde cualquier dispositivo que cuente con un navegador [33].

Una de las diferencias entre estos sistemas está relacionada con la variedad de mecanismos para la participación que ofrecen. Tanto Decidim como Consul permiten la realización de debates, presentaciones y evaluaciones de propuestas, votaciones, presupuestos participativos y la co-creación de leyes o normativas. En el caso del sistema propuesto aquí, al encontrarse en una etapa inicial de desarrollo, se optó por dar soporte solo a encuestas y votaciones. Luego de que se concluya la implementación de la primera versión, se llevarán a cabo pruebas de validación cuyos resultados servirán, entre otras cosas, para evaluar la incorporación de nuevos métodos de participación. No obstante, Decidim tiene la ventaja de ofrecer la mayor variedad de mecanismos [34].

Otra diferencia tiene que ver con las arquitecturas de los sistemas. Decidim se beneficia al poseer un diseño modular y flexible [35], en contraste con la estructura monolítica de Consul, que dificulta su modificación, extensiión y reutilización [36]. Con respecto al sistema propuesto aquí, su arquitectura aventaja a Consul en un par de cuestiones. Su separación entre los clientes y el servidor facilita la modificación de estos componentes. Además, la arquitectura API REST del servidor favorece la interoperabilidad con sistemas de otras instituciones y organizaciones.

## Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se presenta el diseño de un prototipo de un sistema web open-source que tiene como objetivo potenciar la participación ciudadana digital en municipios de nuestra zona de influencia. Con ese fin se ha establecido una base técnica sólida y viable que busca superar las limitaciones de las aplicaciones tradicionales, que suelen restringirse al reporte de incidencias. La propuesta, centrada en encuestas y votaciones adaptables a cada municipio, busca facilitar la participación de manera incidente y deliberativa. Al ser una aplicación web accesible desde cualquier navegador, intenta eliminar la barrera de la descarga y promueve una mayor inclusividad, sentando las bases para hacer los procesos de decisión urbanística más eficientes y representativos.

A futuro se presenta la tarea de implementación del sistema, según la arquitectura diseñada, y la realización de pruebas para evaluar su usabilidad y rendimiento. Para ello apuntamos a realizar una prueba piloto en colaboración con algún municipio, para validar su funcionamiento en un escenario con funcionarios y ciudadanos reales, con la intención de evaluar características como la tasa de participación, la diversidad de usuarios y la utilidad percibida, entre otras.

## Agradecimiento

Este trabajo se enmarca en el Proyecto 04/F018: Reuso de Información en Comunidades Virtuales, (Periodo 2022-2026), desarrollado por el Grupo GIISCo de la Facultad de Informática, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.

## Referencias

[1] UN-Habitat (2016). Urbanization and Development: Emerging Futures: World Cities Report 2016. Nairobi: UN-Habitat.

[2] Macaulay, B., & Kuchenmüller, T. (2022). Implementing citizen engagement within evidence-informed policy-making: An overview of purpose and methods. World Health Organization Regional Office for Europe. https://apps.who.int/iris/handle/10665/364361

[3] OECD (2022), OECD Guidelines for Citizen Participation Processes, OECD Public Governance Reviews, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/f765caf6-en

[4] Mertes, Alexander & Fischer, Damaris & Brüesch, Caroline & Andermatt, Kevin. (2022). The Perceived Advantages of e-Participation and its Impact on Citizens' Willingness to Engage: Findings From the Canton of Zurich. Jahrbuch der Schweizerischen Verwaltungswissenschaften. 13. 131-148. 10.5334/ssas.166.

[5] Mariani, I., Mortati, M., Rizzo, F., Deserti, A. (2025). An Overview on E-Participation. In: Design Thinking as a Strategic Approach to E-Participation. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology(). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72160-1_3

[6] Adenskog, Magnus. (2018). Democratic Innovations in Political Systems - Towards a Systemic Approach (Doctoral dissertation).

[7] OECD (2022), Building Trust and Reinforcing Democracy: Preparing the Ground for Government Action, OECD Public Governance Reviews, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/76972a4a-en.

[8] Burton, P. (2009). Conceptual, Theoretical and Practical Issues in Measuring the Benefits of Public Participation. *Evaluation*, *15*(3), 263-284. https://doi.org/10.1177/1356389009105881 (Original work published 2009)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[9] Jones, Michael. (2007). The European Landscape Convention and the question of public participation. Landscape Research. 32. 613-633. 10.1080/01426390701552753.

[10] UN-Habitat (2018). SDG Indicator 11.3.2 Training Module: Civic Participation. United Nations Human Settlement Programme (UN-Habitat), Nairobi.

[11] Nabatchi, T. (2012). A manager's guide to evaluating citizen participation. Washington, DC: IBM Center for the Business of Government

[12] Lowndes, Vivien & Pratchett, Lawrence. (2006). CLEAR: Understanding Citizen Participation in Local Government–and How to Make it Work Better.

[13] Alawneh, Ali & Al-Refai, Hasan & Batiha, Khaldoun. (2013). Measuring user satisfaction from e-Government services: Lessons from Jordan. Government Information Quarterly. 30. 277–288. 10.1016/j.giq.2013.03.001.

[14] Adnan, Mohammed & Ghazali, Masitah & Othman, Nur Zuraifah. (2022). e-Participation within the Context of e-Government Initiatives: A comprehensive systematic review. Telematics and Informatics Reports. 8. 100015. 10.1016/j.teler.2022.100015.

[15] Kwok, Wai Min. (2014). United Nations E-Government Survey 2014.

[16] Sæbø, Øystein & Rose, Jeremy & Flak, Leif. (2008). The Shape of Eparticipation: Characterizing an Emerging Research Area. Government Information Quarterly. 25. 400-428. 10.1016/j.giq.2007.04.007.

[17] OECD (2004), Promise and Problems of E-Democracy: Challenges of Online Citizen Engagement, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264019492-en.

[18] Wirtz, Bernd & Daiser, Peter & Binkowska, Boris. (2016). E-participation: A Strategic Framework. International Journal of Public Administration. 41. 1-12. 10.1080/01900692.2016.1242620

[19] Johansson, S., Jonsson, M., Gulliksen, J., & Gustavsson, C. (2025). User participation in co-design – requirements for accessible online collaboration: an exploratory study. Behaviour & Information Technology, 1–16. https://doi.org/10.1080/0144929X.2025.2511734

[20] Sala, A., Arrue, M., Pérez, J. E., Espín-Tello, S. M., & Moreno, L. (2023). Accessibility Design Issues beyond the Standards of Government e-Services for People with Low Vision. International Journal of Human–Computer Interaction, 40(19), 5827–5844. https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2241609

[21] Buccafurri, Francesco & Fotia, Lidia & Lax, Gianluca. (2015). A privacy-preserving e-participation framework allowing citizen opinion analysis. Electronic Government, an International Journal. 11. 185. 10.1504/EG.2015.070131.

[22] Mariani, I., Mortati, M., Rizzo, F., Deserti, A. (2025). The Theoretical Background on E-Participation. In: Design Thinking as a Strategic Approach to E-Participation. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology(). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72160-1_2

[23] Scherer, Sabrina & Liotas, Naoum & Wimmer, Maria A. & Tambouris, Efthimios & Tarabanis, Konstantinos. (2011). Interoperability Requirements, Recommendations and Standards in E-Participation. 10.4018/978-1-61520-887-6.ch006.

[24] Municipalidad de San Isidro, *Municipalidad de San Isidro*. Disponible en: https://munidigital.com/citizenv2/sanisidro/informacion?redirect=/sanisidro/. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[25] Municipalidad de Córdoba, *app ciudadana • Municipalidad de Córdoba.* Disponible en: https://cordoba.gob.ar/appciudadana/. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[26] Municipalidad de Corrientes, *La Municipalidad habilitó una aplicación móvil para novedades, trámites y reclamos | Municipalidad de Corrientes.* Disponible en: https://ciudaddecorrientes.gov.ar/content/la-municipalidad-habilit-una-aplicaci-n-m-vil-para-novedades-tr-mites-y-reclamos. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[27] Richards, M. (2015) Software Architecture Patterns. O'Reilly Media, Inc.

[28] Murali, A., Chelliah, P.R., Raj, P. and J, H.S. Architectural Patterns, Packt Publishing Limited, (2017)

[29] Barandiaran, X., Calleja, A., Monterde, A., Aragón, P., Linares, J., Romero, C., & Pereira, A. (2017). Decidim: redes políticas y tecnopolíticas para la democracia participativa. Recerca: revista de pensament i anàlisi, (21), 137-150.

[30] Consul Democracy Foundation, *CONSUL DEMOCRACY*. Disponible en: https://consuldemocracy.org/. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[31] Consul Democracy Foundation, *The Foundation - CONSUL DEMOCRACY*. Disponible en: https://consuldemocracy.org/the-foundation//. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[32] Municipalidad de Rosario, *Rosario Participa*. Disponible en: https://participa.rosario.gob.ar/?locale=es/. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[33] López, F., Abitú, V. A., & Ordinez, L. (2024). Plataformas virtuales de participación ciudadana. Revista Electrónica De Divulgación De Metodologías Emergentes En El Desarrollo De Las STEM, 6(1), 43–67.

[34] Barandiaran, X., *Comparativa Decidim vs. Cónsul – Xabier E. Barandiaran.* Disponible en: https://xabier.barandiaran.net/2019/01/14/comparativa-decidim-vs-consul/. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[35] Decidim, *Comparison of Decidim and Consul | Decidim*. Disponible en: https://decidim.org/blog/2019-01-14-consul-comparison/. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

[36] Pereira de Lucena, A., Blanco-García, A., *Introducción · Propuesta de cambios en la Arquitectura de Consul*. Disponible en: https://alabs.gitbooks.io/propuesta-de-cambios-en-la-arquitectura-de-consul/content/. Accedido por última vez: 12 de septiembre de 2025

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Implementación y Validación Experimental del Grafo Contextual Probabilístico: Un Prototipo para Gestión Temporal de Contextos en LLMs

María Alejandra Barrera[1] Carlos Alberto Acosta Parra[1] Gonzalo de la Fuente[1,2] Gabriel Domingo Vilallonga[1]

[1]*Universidad Nacional de Catamarca - Facultad de Tecnología y Cs. Aplicadas*
mbarrera@tecno.unca.edu.ar, carlosacostap@tecno.unca.edu.ar, gvilallo@tecno.unca.edu.ar

[2]gonchi3.gdlf@gmail.com

**Resumen**

*Los modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) presentan limitaciones significativas para mantener coherencia contextual en interacciones prolongadas, fenómeno conocido como* context forgetting. *Este trabajo presenta la implementación práctica del Agente de Gestión Probabilística de Contextos (AGPC), basado en el marco teórico de Grafos Contextuales Probabilísticos (GCP). El prototipo integra ChromaDB como base vectorial, NetworkX para gestión de grafos, y modelos de embeddings semánticos (sentence-transformers) para implementar decaimiento temporal exponencial y propagación probabilística entre fragmentos de contexto. Se desarrollaron algoritmos de fragmentación semántica automática, parser temporal de seis fases para detección de intención, y sistema de similitudes híbridas que combina métricas léxicas (Jaccard) y semánticas (embeddings). La arquitectura modular permite escalabilidad gradual desde prototipos hasta implementaciones distribuidas. Los resultados preliminares con datasets sintéticos en dominios de informática y legal confirman la viabilidad técnica del enfoque y la correcta integración de todos los componentes especificados. La contribución principal es la primera validación práctica de que el marco teórico GCP es técnicamente implementable con tecnologías estándares, estableciendo fundamentos sólidos para futura evaluación experimental comparativa.*

**Palabras Clave:** grafos probabilísticos, memoria contextual, recuperación aumentada, modelos de lenguaje, gestión temporal, implementación práctica

## 1. Introducción

En el ámbito de los sistemas inteligentes basados en modelos de lenguaje de gran escala (LLMs), la gestión eficiente del contexto constituye un factor crítico para garantizar coherencia y continuidad en interacciones prolongadas. El fenómeno del *context forgetting* [2] compromete significativamente la capacidad de los asistentes inteligentes para mantener trazabilidad semántica robusta en aplicaciones que requieren memoria persistente, como auditorías financieras, sistemas educativos personalizados o entornos médicos.

Los enfoques actuales para mitigar esta problemática incluyen la ampliación de ventanas de contexto, el uso de bases vectoriales y la recuperación aumentada (RAG) [3]. Sin embargo, investigaciones recientes evidencian limitaciones sustantivas: degradación posicional en contextos largos [2], dependencia crítica del chunking y modelos de embedding [4], y persistencia de alucinaciones en sistemas RAG [**?**].

En este contexto, el presente trabajo aborda la implementación práctica del Agente de Gestión Probabilística de Contextos (AGPC), basado en el marco teórico del Grafo Contextual Probabilístico (GCP) propuesto en [1]. A diferencia de los enfoques lineales predominantes, el AGPC implementa un modelo no lineal y difuso de contexto, capaz de establecer y ponderar relaciones probabilísticas entre fragmentos de información distribuidos temporal y semánticamente.

### 1.1. Objetivos del Trabajo

El objetivo principal del desarrollo de la tesis de ingeniería es demostrar la viabilidad técnica del GCP mediante un prototipo funcional que integre:

- Fragmentación semántica automática de conversaciones extensas
- Parser temporal de múltiples fases para detección de intención

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Sistema de similitudes híbridas (léxica y semántica)
- Decaimiento temporal exponencial configurable por tipo de contexto
- Propagación probabilística para descubrimiento de relaciones indirectas

Los objetivos específicos incluyen: (1) demostrar la funcionalidad técnica de todos los componentes especificados, (2) validar escalabilidad del prototipo con datasets de prueba, y (3) identificar limitaciones prácticas y optimizaciones necesarias para futuras implementaciones.

Para contextualizar esta propuesta, resulta pertinente revisar enfoques previos en el área.

### 1.2. Trabajos Relacionados

Diversos enfoques abordan la gestión de contexto en LLMs. MemGPT [11] propone arquitectura jerárquica de memoria inspirada en sistemas operativos, separando contexto activo de almacenamiento a largo plazo. Sistemas RAG tradicionales [3] emplean recuperación vectorial para aumentar contexto, aunque evidencian limitaciones en coherencia temporal [4]. El GCP se diferencia mediante modelado explícito de relaciones temporales y semánticas en estructura de grafo probabilístico, permitiendo propagación de activación entre contextos relacionados indirectamente. Esta capacidad de descubrimiento de relaciones no-evidentes distingue el enfoque del GCP de arquitecturas lineales predominantes.

## 2. Marco de Implementación

### 2.1. Arquitectura del Sistema

El AGPC se implementa siguiendo una arquitectura modular de cuatro capas principales: presentación, procesamiento, persistencia y servicios externos.

**Capa de Presentación:** Interfaz web desarrollada con FastAPI que proporciona endpoints REST para carga de conversaciones, consultas inteligentes, y visualización de grafos mediante vis.js.

**Capa de Procesamiento:** Núcleo del sistema que integra fragmentador semántico, extractor de palabras clave (spaCy), parser temporal, analizador de consultas, y motor de grafos (NetworkX).

**Capa de Persistencia:** ChromaDB para indexación vectorial de embeddings, NetworkX para estructura del grafo, y almacenamiento JSON para metadatos de conversaciones y fragmentos.




Figura 1: Interfaz web del prototipo AGPC para carga masiva de datasets.

**Servicios Externos:** Google Gemini API para generación de respuestas, evitando limitaciones de memoria local y aprovechando capacidades multimodales.

### 2.2. Stack Tecnológico

La selección tecnológica priorizó balance entre funcionalidad, eficiencia y reproducibilidad (Cuadro 1).

Cuadro 1: Stack tecnológico del prototipo AGPC

| Componente | Tecnología |
|---|---|
| API Framework | FastAPI 0.116.1 + Uvicorn |
| NLP Pipeline | spaCy 3.8.7 + es_core_news_sm |
| Embeddings | sentence-transformers 5.1.0 |
| Base Vectorial | ChromaDB 1.0.15 (local) |
| Motor de Grafos | NetworkX 3.4.2 |
| Computación Científica | NumPy 2.2.6 + SciPy 1.15.3 |
| LLM Externo | Google Gemini API |

ChromaDB fue seleccionado sobre alternativas como Pinecone o Weaviate por permitir implementación local sin costos de API, facilitando reproducibilidad académica. NetworkX se eligió sobre igraph por su ecosistema Python más maduro y mejor integración con librerías científicas.

### 2.3. Flujos de Datos Principales

El sistema opera mediante tres flujos principales:

**Flujo de Ingreso:** Conversación → Fragmentación semántica → Extracción NLP → Parser temporal → Indexación ChromaDB → Actualización del grafo → Persistencia.

**Flujo de Consulta:** Análisis de intención temporal → Búsqueda semántica (k=10) → Filtro temporal → Construcción de subgrafo → Generación de respuesta → Respuesta enriquecida.

**Flujo de Visualización:** Selección de vista (macro/micro) → Agregación de datos → Enriquecimiento visual → Renderizado vis.js.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# 3. Implementación del GCP

La arquitectura modular de cuatro capas descrita en la sección anterior proporciona el marco estructural para materializar los algoritmos core del Grafo Contextual Probabilístico. Los componentes de la capa de procesamiento implementan específicamente las operaciones matemáticas y lógicas del modelo teórico GCP, mientras que las capas de persistencia y presentación facilitan la integración del sistema completo.

Esta sección detalla cómo se materializan prácticamente los conceptos teóricos del marco GCP: la representación de nodos y aristas en estructuras de datos eficientes, los algoritmos de cálculo de similitudes híbridas, y los mecanismos de decaimiento temporal diferenciado por tipo de contexto.

El modelo teórico GCP se fundamenta en grafos probabilísticos [6], donde cada nodo mantiene una distribución de probabilidad sobre su relevancia contextual. Esta abstracción matemática se materializa mediante pesos dinámicos en aristas (similitud estructural) y factores de decaimiento temporal en nodos (relevancia temporal).

El modelo teórico GCP se fundamenta en grafos probabilísticos [6], donde cada nodo mantiene una distribución de probabilidad sobre su relevancia contextual. Esta abstracción matemática se materializa mediante pesos dinámicos en aristas (similitud estructural) y factores de decaimiento temporal en nodos (relevancia temporal). El marco conceptual contempla propagación de activación entre nodos inspirada en random walks with restart [7] para descubrimiento de relaciones indirectas, funcionalidad programada como extensión futura. Esta correspondencia entre formalismo teórico e implementación actual garantiza que el sistema preserve las propiedades probabilísticas fundamentales del modelo conceptual.

## 3.1. Estructura del Grafo

El GCP se implementa como un grafo dirigido usando NetworkX, donde cada nodo representa un fragmento de contexto y las aristas modelan relaciones ponderadas probabilísticamente.

**Representación de Nodos:** Cada fragmento se almacena con estructura dual: metadatos mínimos en NetworkX y metadatos completos en estructura JSON separada para optimizar performance.

```
        # Metadatos completos (JSON)
        metadatos_contextos[id_contexto] =
    {
                "titulo": titulo,
                "texto": texto,
                "palabras_clave":
    palabras_clave,
                "timestamp":
    timestamp_usado,
                "tipo_contexto":
    tipo_contexto
        }
```

La estructura incluye campos adicionales para conversación ID, posición del fragmento y clasificación temporal, omitidos aquí por brevedad.

**Ponderación de Aristas:** Las aristas incorporan tres tipos de pesos calculados dinámicamente:

$$W_{efectivo} = W_{estructural} \times (1 + R_{temporal} \times F_{refuerzo}) \quad (1)$$

donde $W_{estructural}$ combina similitud léxica y semántica, $R_{temporal}$ aplica decaimiento exponencial, y $F_{refuerzo}$ deriva del parser de intención temporal.

## 3.2. Algoritmo de Similitudes Híbridas

La similitud estructural combina componentes léxicos y semánticos mediante promedio balanceado:

$$W_{estructural} = \frac{S_{Jaccard} + S_{semantica}}{2} \quad (2)$$

donde $S_{Jaccard}$ mide coincidencias en palabras clave extraídas por spaCy, y $S_{semantica}$ utiliza embeddings de sentence-transformers (all-MiniLM-L6-v2, 384 dimensiones) indexados en ChromaDB.

En síntesis, la representación de nodos y la ponderación estructural definen la base semántica sobre la que opera el sistema. En la subsección siguiente se incorpora la dimensión temporal, que regula la vigencia relativa de los contextos y modula el peso efectivo de las conexiones.

## 3.3. Decaimiento Temporal Exponencial

El modelo incorpora un mecanismo de decaimiento temporal basado en la función exponencial, cuyo objetivo es regular la vigencia relativa de cada contexto en función del paso del tiempo. Este enfoque permite que los contextos más antiguos pierdan progresivamente relevancia, mientras que los más recientes conservan un peso mayor en el grafo.

Formalmente, la probabilidad asociada a un nodo disminuye con el tiempo siguiendo una tasa de decaimiento definida, lo que asegura que la estructura contextual evolucione de manera dinámica y adaptable. Este mecanismo resulta clave para evitar la acumulación de información obsoleta que podría distorsionar la recuperación de contextos pertinentes.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En consecuencia, el decaimiento temporal dota al GCP de una capacidad de ajuste automático, manteniendo un balance entre memoria histórica y pertinencia actual. Sobre esta base, la subsección siguiente introduce el *parser de intención temporal*, encargado de interpretar las expresiones temporales presentes en los datos de entrada y reforzar este mecanismo de gestión.

La relevancia temporal se modela mediante decaimiento exponencial diferenciado por tipo de contexto:

$$R_{temporal} = e^{-\frac{\Delta t}{\tau_{tipo}}} \quad (3)$$

donde $\Delta t$ es la diferencia temporal en días y $\tau_{tipo}$ es el factor de decaimiento específico: reunión (2 días), tarea (7 días), evento (3 días), proyecto (45 días), conocimiento (365 días), general (30 días).

Esta parametrización replica la curva del olvido humano, donde información reciente mantiene alta relevancia que decae exponencialmente, pero conserva valor residual mínimo para preservar trazabilidad histórica.

### 3.4. Parser Temporal de Seis Fases

Complementando el decaimiento temporal, el modelo integra un *parser de intención temporal* que permite interpretar expresiones de tiempo presentes en los fragmentos de información. Este componente asigna metadatos temporales de forma explícita, enriqueciendo la representación de cada nodo y facilitando su ponderación en el grafo.

La función principal del parser es normalizar y estandarizar referencias como “ayer”, “el próximo mes” o “en dos semanas”, convirtiéndolas en marcas temporales precisas. De esta forma, el sistema puede relacionar adecuadamente los contextos en función de su vigencia y coherencia cronológica.

En conjunto con el decaimiento exponencial, el parser asegura que los contextos no solo pierdan relevancia con el paso del tiempo, sino que también puedan ser interpretados correctamente en relación con su intencionalidad temporal. Este doble enfoque fortalece la dinámica adaptativa del GCP. La siguiente subsección describe cómo estos mecanismos se integran para producir un modelo de gestión contextual coherente.

El sistema de detección de intención temporal opera mediante pipeline de seis fases con niveles diferenciados de confianza y factor de refuerzo:

El sistema de detección de intención temporal opera mediante pipeline de seis fases con niveles diferenciados de confianza y factor de refuerzo: (1) resolución contextual que convierte referencias relativas a timestamps absolutos; (2) detección de patrones fuertes con expresiones temporales explícitas (confianza 0.9, refuerzo 2.5); (3) identificación de timestamps específicos en el texto (confianza 0.95, refuerzo 2.0); (4) reconocimiento de vocabulario temporal genérico (confianza 0.6, refuerzo 1.5); (5) detección de patrones estructurales no-temporales (confianza 0.8, refuerzo 0.2); y (6) clasificación por defecto con parámetros débiles (confianza 0.3, refuerzo 1.0). Los niveles de confianza calibrados permiten ajuste fino del balance entre precisión y cobertura temporal.

## 4. Diseño Experimental

### 4.1. Datasets Sintéticos

Para validación controlada se desarrollaron dos datasets sintéticos:

**Dataset Informática:** 3 conversaciones técnicas controladas sobre arquitectura web, selección de bases de datos y optimización de algoritmos, diseñadas específicamente para validar funcionalidad de los componentes implementados. La fragmentación automática genera un número variable de segmentos coherentes (dependiendo de longitud, participantes y estructura conversacional) que permiten probar detección de cambios de hablante, parser temporal y similitudes semánticas entre conceptos técnicos relacionados.

**Dataset Legal:** 3 conversaciones sobre un caso de compraventa distribuidas temporalmente, estructuradas para validar el decaimiento temporal diferenciado y propagación contextual entre documentos relacionados cronológicamente. Permite probar calibración de factores de decaimiento por tipo de contexto (documento, reunión, litigio).

Los datasets incluyen metadatos temporales, participantes, y tipología (reunión, planificación, brainstorming) para validar comportamiento diferenciado del decaimiento temporal.

### 4.2. Metodología de Evaluación

El protocolo experimental contempla tres dimensiones de análisis:

**Análisis Temporal:** Consultas con intención temporal fuerte ("¿qué tengo mañana?") vs. débil ("¿hay algo pendiente?") para validar efectividad del parser y factor de refuerzo.

**Propagación Semántica:** Consultas que requieren conexiones indirectas (ej: "problemas de escalabilidad"debe conectar discusiones de bases de datos con optimización de algoritmos).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Preparación para Futura Comparación:** Se identificaron baselines apropiados para evaluación futura: RAG estándar, búsqueda vectorial simple y BM25, estableciendo el marco metodológico para validación comparativa sistemática.

## 5. Resultados y Análisis

El desarrollo del prototipo AGPC ha alcanzado la implementación completa de los componentes técnicos especificados. Esta sección presenta el estado actual de la implementación y los avances logrados hacia la validación experimental del marco GCP.

### 5.1. Estado de Implementación

Se ha completado la implementación de todos los módulos core del sistema: fragmentador semántico con detección automática de hablantes, parser temporal de seis fases, sistema de similitudes híbridas, modelo de decaimiento temporal exponencial, y arquitectura modular de cuatro capas. El stack tecnológico seleccionado (FastAPI, ChromaDB, NetworkX, spaCy, sentence-transformers) se ha integrado exitosamente.

### 5.2. Datasets y Casos de Prueba Preparados

Se desarrollaron datasets sintéticos controlados para validación: dataset de informática con 3 conversaciones técnicas y dataset legal con 3 conversaciones sobre compraventa distribuidas temporalmente. Estos datasets incluyen metadatos temporales, participantes y tipología diferenciada necesarios para probar los componentes del sistema.

### 5.3. Funcionalidad Técnica Verificada

El prototipo procesa conversaciones completas aplicando fragmentación automática, extrae palabras clave mediante spaCy, clasifica intención temporal en consultas de usuario, y construye grafos contextuales con pesos calculados según similitud estructural y relevancia temporal. La integración con Google Gemini API permite generación de respuestas enriquecidas con contexto.

[0]Los fragmentos mostrados corresponden a procesamiento de dataset sintético. Los pesos varían entre 0.0 y 1.0, donde valores más altos indican mayor similitud o relevancia.

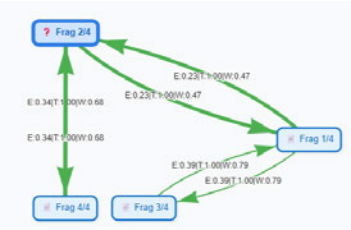



Figura 2: Grafo contextual con fragmentos y relaciones ponderadas (E=estructural, T=temporal, W=efectivo).

### 5.4. Pendientes de Evaluación Experimental

La validación cuantitativa sistemática, comparación con baselines establecidos, y medición de métricas de performance se encuentran programadas para etapas posteriores del desarrollo. Los experimentos de escalabilidad y estudios de precisión temporal requieren protocolos experimentales más extensos que exceden el alcance actual del prototipo.

## 6. Lecciones de Implementación

La transición del marco conceptual GCP hacia un sistema funcional ha generado aprendizajes técnicos significativos que informan futuras implementaciones y contribuyen al conocimiento sobre desarrollo de sistemas de gestión contextual avanzados.

### 6.1. Desafíos Técnicos Críticos y Soluciones Adoptadas

La implementación reveló desafíos no anticipados en el diseño conceptual que requirieron soluciones técnicas específicas:

**Limitaciones de Recursos Computacionales:** El intento inicial de ejecutar LLMs localmente (Llama-2 7B) resultó en consumo excesivo de memoria (>8GB RAM) y latencias prohibitivas para el prototipo. La migración a Google Gemini API resolvió estas limitaciones manteniendo calidad de respuestas, aunque introduce dependencia de servicios externos que debe considerarse en implementaciones futuras.

**Complejidad de Gestión de Estado del Grafo:** La operación de recálculo completo de relaciones presenta complejidad $O(n^2)$ que se convierte en cuello de botella computacional. Se requieren estrategias de actualización incremental para escala-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



bilidad, representando una brecha significativa entre el modelo teórico y los requisitos de implementación práctica.

**Detección y Prevención de Duplicados:** La verificación de contextos duplicados mediante hash de contenido resultó insuficiente para casos prácticos. Se implementó verificación semántica previa a la indexación, aumentando robustez pero incrementando complejidad computacional del pipeline de ingreso.

### 6.2. Optimizaciones Técnicas Desarrolladas

Las optimizaciones implementadas incluyen fragmentación semántica inteligente que supera chunking fijo mediante detección automática de límites conversacionales, y arquitectura de almacenamiento dual que balancea performance (metadatos ligeros en NetworkX) con funcionalidad (estructuras JSON completas).

Complementariamente, el sistema incorpora carga por lotes con tracking de progreso para validación sistemática, y pipeline de validación que verifica formato y consistencia, previniendo errores posteriores.

### 6.3. Limitaciones Arquitectónicas y Técnicas Identificadas

El desarrollo ha revelado limitaciones estructurales que definen el alcance actual y direcciones futuras:

**Escalabilidad del Motor de Grafos:** NetworkX, aunque apropiado para prototipado académico, no está optimizado para grafos de gran escala. La migración a motores especializados (Neo4j, TigerGraph) será necesaria para implementaciones que manejen miles de nodos, representando una limitación fundamental de la selección tecnológica actual.

**Calibración Manual de Parámetros Temporales:** Los factores de decaimiento temporal (reunión: 2 días, proyecto: 45 días, etc.) requieren calibración específica por dominio de aplicación. La ausencia de mecanismos automáticos de calibración limita adaptabilidad del sistema a nuevos dominios sin intervención experta.

**Visualización de Estructuras Complejas:** La representación visual del grafo pierde claridad con más de 50 nodos, limitando utilidad del componente de exploración interactiva. Se requieren estrategias de agregación y filtering dinámico para grafos de mayor escala.

**Dependencia de Calidad de Embeddings:** El rendimiento del sistema está acoplado a la calidad de los embeddings de sentence-transformers. Variaciones en modelos o configuraciones pueden afectar significativamente la precisión de similitudes semánticas, introduciendo fragilidad en el pipeline de procesamiento. El impacto práctico de estas limitaciones varía según el dominio de aplicación. En escenarios que manejan corpus extensos (miles de documentos), como auditorías financieras o sistemas legales, la escalabilidad $O(n^2)$ del motor de grafos constituye una barrera crítica para adopción productiva. En aplicaciones con corpus moderados (centenares de documentos), como gestión de proyectos académicos o soporte técnico especializado, las limitaciones actuales resultan manejables, aunque la calibración manual de parámetros temporales requiere expertise del dominio específico, limitando deployment sin soporte técnico especializado. Estas restricciones prácticas definen claramente los contextos de uso apropiados para el prototipo actual versus aquellos que requieren evolución arquitectónica sustantiva.

### 6.4. Implicaciones para el Desarrollo del GCP

Las lecciones obtenidas evidencian brechas entre teoría e implementación que requieren extensiones del marco conceptual para abordar escalabilidad y calibración automática. Los trade-offs tecnológicos identificados (simplicidad vs. capacidades vs. escalabilidad) deben explicitarse en futuras propuestas. La arquitectura modular validó principios de ingeniería de software aplicados a gestión contextual.

La ausencia de benchmarks establecidos complica la evaluación objetiva, constituyendo el desarrollo de datasets de referencia una necesidad prioritaria para avance del área. Estas lecciones establecen fundamentos técnicos para futuras implementaciones del GCP.

## 7. Trabajo Futuro

La implementación del prototipo AGPC ha demostrado la viabilidad técnica del marco GCP y ha identificado áreas específicas que requieren desarrollo adicional. Esta sección presenta extensiones directas del trabajo actual que podrían abordarse en futuras etapas del proyecto o trabajos relacionados.

### 7.1. Completar la Evaluación Experimental

El prototipo actual requiere validación experimental sistemática para confirmar las hipótesis planteadas:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Medición de Métricas de Rendimiento:** Implementar las métricas de evaluación diseñadas para medir precisión temporal, latencia de respuesta y throughput del sistema con datasets de mayor escala.

**Comparación Cuantitativa con Baselines:** Ejecutar comparaciones sistemáticas contra RAG estándar y búsqueda vectorial simple para cuantificar las ventajas del enfoque híbrido implementado.

**Casos de Uso Extendidos:** Ampliar los datasets sintéticos a otros dominios (educación, soporte técnico) para validar generalidad del sistema más allá de informática y legal.

### 7.2. Optimizaciones de Escalabilidad

Las limitaciones de performance identificadas sugieren mejoras específicas implementables:

**Actualización Incremental de Relaciones:** Implementar algoritmos que eviten el recálculo completo $O(n^2)$ cuando se agregan nuevos contextos, manteniendo solo las relaciones que requieren actualización.

**Migración a Base de Datos de Grafos:** Evaluar la migración desde NetworkX hacia Neo4j para manejar corpus de mayor escala y mejorar tiempos de consulta.

**Caching de Similitudes:** Implementar cache inteligente de cálculos de similitud frecuentemente accedidos para reducir latencia en consultas repetitivas.

### 7.3. Extensiones Técnicas y Funcionales

El sistema puede extenderse mediante: implementación de propagación básica entre nodos para completar especificación GCP teórica; interfaz web de configuración de parámetros temporales; técnicas de visualización mejorada para grafos con más de 50 nodos; manejo robusto de errores; documentación técnica y testing automatizado; y sistema de logging con métricas de performance. Estas extensiones construyen directamente sobre el trabajo actual con alcance apropiado para futuras iteraciones.

### 7.4. Validación en Aplicaciones Reales

La transición desde datasets sintéticos hacia casos de uso reales constituye una extensión natural:

**Integración con Sistemas Existentes:** Desarrollar conectores para integrar el AGPC con sistemas de gestión documental o plataformas de colaboración existentes.

**Estudios de Caso Específicos:** Aplicar el sistema en casos de uso concretos (ej: gestión de proyectos académicos, soporte técnico de software) para identificar requisitos adicionales.

**Interfaz de Usuario Final:** Desarrollar interfaces más intuitivas para usuarios no técnicos que permitan aprovechar las capacidades del sistema sin conocimiento especializado.

Estas extensiones representan pasos incrementales y realizables que construyen directamente sobre el trabajo actual, manteniendo un alcance apropiado para futuras iteraciones del proyecto.

## 8. Conclusiones

El fenómeno del *context forgetting* en modelos de lenguaje de gran escala representa un desafío crítico que limita la adopción de sistemas inteligentes en aplicaciones que requieren trazabilidad semántica robusta. Este trabajo ha demostrado que la transición del marco teórico del Grafo Contextual Probabilístico (GCP) hacia un sistema funcional es técnicamente viable mediante la implementación exitosa del Agente de Gestión Probabilística de Contextos (AGPC).

La implementación integra fragmentación semántica automática, parser temporal de seis fases, sistema de similitudes híbridas y decaimiento temporal exponencial configurable. El stack tecnológico seleccionado (FastAPI, ChromaDB, NetworkX, spaCy, sentence-transformers) se ha integrado exitosamente, validando que el marco conceptual GCP es prácticamente implementable con tecnologías estándares de la industria.

Este trabajo aporta contribuciones específicas: (1) primera implementación funcional completa del marco GCP teórico, (2) algoritmos de fragmentación que superan chunking tradicional mediante detección automática de límites conversacionales, (3) parser temporal con factores de refuerzo calibrados, y (4) arquitectura modular extensible que facilita investigación futura. Estas contribuciones establecen línea base técnica para evaluación comparativa de enfoques alternativos.

La experiencia de implementación reveló limitaciones importantes: escalabilidad $O(n^2)$ en recálculo de relaciones, necesidad de calibración manual de parámetros temporales, y dependencia de calidad de embeddings. Estas limitaciones establecen direcciones claras para desarrollo futuro y proporcionan lecciones prácticas para implementadores.

El trabajo es particularmente relevante para dominios críticos como auditorías, aplicaciones médicas y entornos educativos donde la trazabilidad contextual es esencial. La capacidad demostrada

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



del AGPC para mantener coherencia contextual en interacciones distribuidas temporalmente posiciona esta tecnología como candidata viable para resolver limitaciones actuales en asistentes inteligentes especializados.

Los fundamentos técnicos establecidos crean oportunidades para extensiones futuras: escalamiento hacia corpus mayores mediante migración a motores de grafos distribuidos, integración con LLMs avanzados para generación contextualmente coherente, y aplicación en dominios críticos con validación experimental rigurosa. La arquitectura modular desarrollada facilita estas extensiones manteniendo compatibilidad con el núcleo conceptual del GCP.

Este trabajo demuestra que el Grafo Contextual Probabilístico puede ser implementado técnicamente con tecnologías estándares, validando la viabilidad práctica del marco teórico. El prototipo desarrollado constituye un primer paso concreto hacia sistemas de gestión contextual más robustos y establece fundamentos técnicos para futuras implementaciones de mayor escala.

## Referencias

[1] G. De la Fuente, C. Acosta Parra, M. A. Barrera, G. Vilallonga. Gestión probabilística de contextos en asistentes inteligentes: una propuesta basada en grafos. *Fase Evaluación CONAIISI 2025. Documento compartido en Google Drive.* Disponible en: `https://drive.google.com/file/d/1hS3Jyzi_Cx7AFibIMj_H9-EbjxuFxg9g/view?usp=drive_link`

[2] N. F. Liu, K. Lin, J. Hewitt, A. Paranjape, Y. Belinkov, and P. Liang. Lost in the middle: How language models use long contexts. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 12:157–173, 2024.

[3] P. Lewis, E. Perez, A. Piktus, F. Petroni, V. Karpukhin, N. Goyal, H. Küttler, M. Lewis, W. Yih, T. Rocktäschel, S. Riedel, and D. Kiela. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive nlp tasks. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 33, pages 9459–9474, 2020.

[4] S. Barnett, S. Kurniawan, S. Thudumu, Z. Brannelly, and M. Abdelrazek. Seven failure points when engineering a retrieval augmented generation system. *arxiv.org/abs/2401.05856*, 2024.

[5] C. Niu, Y. Wu, J. Zhu, S. Xu, K. Shum, R. Zhong, J. Song, and T. Zhang. RAGTruth: A Hallucination Corpus for Developing Trustworthy Retrieval-Augmented Language Models. In *Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, pages 10862–10878, Bangkok, Thailand, 2024. Association for Computational Linguistics.

[6] D. Koller and N. Friedman. *Probabilistic graphical models: principles and techniques*. MIT press, 2009.

[7] H. Tong, C. Faloutsos, and J. Y. Pan. Fast random walk with restart and its applications. In *Proceedings of the 6th International Conference on Data Mining*, pages 613–622. IEEE, 2006.

[8] T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean. Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*, 2013.

[9] J. Devlin, M. W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*, 2018.

[10] N. Reimers and I. Gurevych. Sentence-bert: Sentence embeddings using siamese bert-networks. In *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2019.

[11] C. Packer, V. Fang, S. G. Patil, K. Lin, S. Wooders, and J. E. Gonzalez. Memgpt: Towards llms as operating systems. *arXiv preprint arXiv:2310.08560*, 2023.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema de asignación de evaluadores de artículos para el CoNaIISI basado en una métrica de similitud temática

Forni, Lucas
*Universidad Tecnológica Nacional,*
Facultad Regional Concepción del Uruguay
Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
fornil@frcu.utn.edu.ar

Fernández, Martin
*Universidad Tecnológica Nacional,*
Facultad Regional Concepción del Uruguay
Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
fernandez.martin@proyecto.frcu.utn.edu.ar

Colazo, Camila
*Universidad Tecnológica Nacional,*
Facultad Regional Concepción del Uruguay
Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
colazo.camila@proyecto.frcu.utn.edu.ar

Bournissen, Federica
*Universidad Tecnológica Nacional,*
Facultad Regional Concepción del Uruguay
Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina
bournissen.federica@proyecto.frcu.utn.edu.ar

***Resumen*—La asignación de revisores a artículos en congresos académicos es un proceso crítico que impacta directamente en la calidad de las evaluaciones. El sistema de gestión de conferencia actual del CoNaIISI, *Open Conference System*, presenta limitaciones para realizar esta tarea de forma automatizada, no brinda ninguna clase de asistencia y queda subordinada enteramente al criterio de los Chairs, lo que aumenta la carga de trabajo. Este trabajo presenta una integración mediante plugin que da soporte a la asignación de evaluadores basada en una métrica de similitud temática y un modelo de optimización de flujo de costo mínimo. El sistema garantiza un mínimo de revisiones por artículo, siempre que los revisores sean suficientes. Las pruebas con 5000 artículos demostraron tiempos de ejecución de 126 segundos, con valores de similitud entre 0.40 y 0.96 (concentrados entre 0.59 y 0.71), validando la escalabilidad y efectividad del modelo. El alcance de la herramienta abarca funcionalidades de asignación automática y manual, mientras que la gestión final de conflictos de interés queda a cargo del comité organizador. Se desarrolló un sistema de recomendación dinámico que mejora la calidad de las revisiones por pares, reduce la carga operativa de los Chairs y agiliza el ciclo de evaluación.**

***Palabras clave*—** Asignación revisores a artículos, Automatización, Métrica de similitud temática, Mejora de procesos, Problema de asignación de revisores.

## I. Justificación

El Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI) [1] es una iniciativa de la Red de Carreras de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (RIISIC) del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI). Constituye el congreso nacional de referencia de la disciplina en Argentina, con 13 ediciones hasta 2025. CONFEDI reúne a 121 facultades públicas y privadas de Argentina y desde 1988 trabaja en la mejora continua de la formación de profesionales, consolidándose como el máximo representante de la educación en ingeniería a nivel nacional. [2]. En 2011 constituyó la Red RIISIC con la misión de "constituirse como un órgano técnico representativo de carreras de Sistemas de Información e Informática para atender solicitudes de la comisión ejecutiva del CONFEDI". Desde 2013, CoNaIISI se celebra anualmente en una universidad diferente, seleccionada mediante votación entre los miembros de RIISIC. Esta rotación geográfica busca promover la inclusión y el intercambio nacional. El congreso se ha consolidado como un espacio crucial para la divulgación académica en informática y sistemas de información.

El comité organizador local abre anualmente la convocatoria para artículos académicos [3], aceptando dos categorías: "Docentes-Investigadores-Graduados" y "Trabajos de Estudiantes". Los interesados crean una cuenta proporcionando información personal, de contacto y perfil académico. Los artículos se evalúan mediante sistema de doble ciego (*double-blind*), garantizando que evaluadores y autores desconozcan mutuamente su identidad, asegurando objetividad y equidad. Los investigadores catalogan sus artículos en uno de ocho ejes temáticos:

- Tecnologías Básicas de Ingenierías en Informática / Sistemas de Información
- Bases de Datos
- Trabajos Estudiantiles
- Sistemas de Computación y Comunicación de Datos
- Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Software y Gestión de Proyectos
- Informática Forense y Seguridad Informática
- Aplicaciones informáticas y de Sistemas de Información
- Educación en Ingeniería

Cada eje cuenta con un "Chair" responsable, seleccionado por experiencia demostrable mediante publicaciones. Los Chairs asignan evaluadores a cada artículo, quienes deben ser docentes de facultades RIISIC o investigadores de organismos como CONICET [4]. Tras la revisión, los Chairs deciden aceptar o rechazar artículos, comunicando observaciones anónimas para mejora. Esto se puede ver en mas detalle en la figura 1.

CoNaIISI actualmente utiliza Open Conference System (OCS) [5], desarrollado por Public Knowledge Project (PKP), que presenta ciertas limitaciones. El proceso de asignación se realiza manualmente, donde Chairs deben asignar evaluadores, revisar evaluaciones y comunicar decisiones. Este sistema presenta limitaciones de eficiencia para eventos de gran envergadura como CoNaIISI, principalmente debido a la carga manual que representa para los Chairs. Este proceso

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



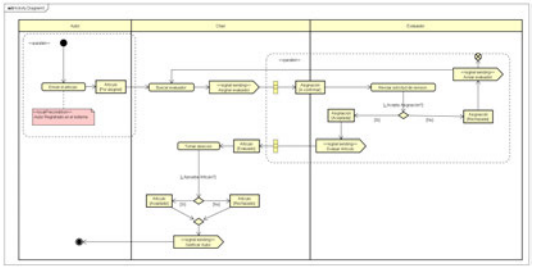


Figura 1. Diagrama de Actividad de Asignación

de asignación manual presenta desafíos significativos que han sido estudiados en la literatura académica.

### *I-A. Problema de Asignación de Evaluadores*

La asignación adecuada de evaluadores (*Reviewer Assignment Problem*, RAP) es crucial para garantizar calidad académica, equilibrio en carga de trabajo, retroalimentación constructiva, credibilidad del evento, objetividad ética y cumplimiento de plazos. Una correcta asignación asegura que especialistas evalúen artículos de su área, elevando la calidad científica general del congreso. La asignación de evaluadores en conferencias académicas constituye un problema de optimización combinatoria. Este problema influye directamente en la calidad de los trabajos publicados y constituye "el trabajo base de la autenticación científica".

Según su análisis del área [6], el RAP se dividió formalmente en tres fases: búsqueda de candidatos evaluadores, cálculo del grado de coincidencia, y optimización de la asignación.

Para garantizar una revisión de calidad, la asignación debe considerar varios factores: los evaluadores asignados deben ser los más competentes para el trabajo, estar interesados en el artículo y dispuestos a revisarlo en el tiempo estipulado, la carga de trabajo debe estar balanceada entre evaluadores, y los conflictos de interés deben evitarse.

Los enfoques actuales para RAP pueden ser asignación manual (que depende del conocimiento de editores sobre desarrollos académicos, siguiendo criterios como los de CLACSO [7]), sistemas de ofertas (bidding) donde evaluadores expresan preferencias subjetivas sobre manuscritos, y mecanismos automáticos. Factores como la colaboración o la amistad pueden influir en los sistemas de ofertas, lo que subraya la necesidad de sistemas automáticos para garantizar asignaciones justas y eficientes.

La selección de candidatos debe considerar su nivel profesional, el cual puede evaluarse a través de criterios como sus publicaciones, proyectos de investigación, desempeño histórico y la opinión de otros expertos.

Una vez seleccionados los candidatos, la siguiente fase es calcular el grado de coincidencia (matching degree) entre un artículo y un evaluador, lo cual mide la afinidad entre el contenido del manuscrito y la pericia del revisor. Este cálculo es fundamental para asegurar que los artículos sean revisados por expertos en la materia. Las metodologías para esta tarea se pueden clasificar en varios enfoques [8]:

**Knowledge-based:** Estos métodos utilizan información de fuentes estructuradas como ontologías, bases de datos léxicas y diccionarios para medir la similitud.

**Corpus-based:** Estos enfoques miden la similitud a partir de información extraída de grandes colecciones de texto (corpus), bajo la "hipótesis distribucional" que postula que "palabras similares aparecen juntas frecuentemente". Algunos métodos son:

- **Latent Semantic Indexing (LSI):** es un proceso de indexación que trata de comprender el contexto y el significado de las palabras clave utilizadas, para establecer conexiones entre las palabras clave utilizadas y sus sinónimos, así como sus familias de palabras.
- **Latent Dirichlet Allocation (LDA):** es un modelo generativo probabilístico que asume que los documentos son una mezcla de "tópicos" latentes. Es ampliamente utilizado para el modelado de temas y la medición de similitud temática en sistemas como el Toronto Paper Matching System (TPMS).
- **Word Embeddings:** Son representaciones vectoriales de palabras que capturan relaciones semánticas, han demostrado ser muy eficaces, ya que generan vectores contextualizados que permiten una medición más precisa de la similitud entre textos.
- **Métodos Basados en Redes Neuronales Profundas y Modelos Híbridos:** En los últimos años, arquitecturas como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), las Redes Recurrentes (LSTM) y los modelos basados en Transformers han superado a los métodos tradicionales. Asimismo, los sistemas híbridos combinan la eficiencia estructural de los métodos basados en conocimiento con la versatilidad de los basados en corpus para mejorar el rendimiento general.

La fase final consiste en realizar una asignación óptima [6] que respete un conjunto de restricciones prácticas. Este es un problema de optimización combinatoria que puede modelarse de diversas formas:

- **Problema de Asignación Generalizada (GAP) [9]:** este problema consiste en encontrar la asignación de tareas a agentes que minimice el costo total (o maximice la utilidad), garantizando que cada tarea sea asignada exactamente una vez y que los agentes no superen sus capacidades. La dificultad radica en que se trata de un problema NP-Hard, para el cual la mayor parte de los enfoques se basan en algoritmos de branch-and-bound, con cotas obtenidas mediante heurísticas y relajaciones de la formulación primal.
- **Modelo de Flujo en Redes (Network Flow) [10]:** este enfoque modela el problema como un flujo de costo mínimo en una red dirigida, donde los nodos representan orígenes y destinos y las aristas capturan las posibles asignaciones con sus respectivos costos. El objetivo es encontrar un flujo que minimice el costo total, respetando las restricciones de capacidad en cada arco y las condiciones de balance de flujo en los nodos. Se trata de una de las formulaciones más estudiadas en investigación de operaciones, con algoritmos polinomiales bien establecidos.
- **Modelo de Cobertura de Conjuntos (Set-Covering) [11]:** Esta formulación alternativa se centra en maximizar la evaluación por pares de manuscritos, optimizando el número de pares de artículos que son revisados por al menos un evaluador común. El modelo utiliza programación entera con variables binarias que indican si un revisor evalúa un subconjunto específico de manuscritos, y variables auxiliares que capturan el número de revisores que evalúan cada par de artículos. La función objetivo incorpora pesos utilitarios crecientes pero con diferencias decrecientes, reflejando la utilidad marginal decreciente de asignar revisores adicionales a un mismo par. Esta aproximación resulta particularmente relevante para la generación de rankings consensuados mediante la agregación de evaluaciones parciales.

### *I-B. Sistemas de Gestión de Conferencias*

Por último es importante explicar que los sistemas de gestión de conferencias son herramientas de software diseñadas para automatizar y facilitar la organización de eventos académicos [12]. Un estudio comparativo de sistemas como EDAS, Confious, OpenConf, ConfTool y PaperDyne revela que la mayoría de las conferencias en ciencias de la computación utilizan estas herramientas comerciales para gestionar el proceso de asignación de evaluadores.

Entre los sistemas más utilizados se encuentran:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **EasyChair [13]:** Ideal para conferencias de tamaño pequeño a mediano, gestiona envíos, revisiones y asignación automática. Sin embargo, su versión gratuita ha sido limitada a 20 artículos.
- **Microsoft CMT [14]:** Herramienta gratuita y versátil, utilizada en eventos de gran escala, que permite la gestión de conflictos de interés y revisiones estructuradas. Su interfaz puede ser poco intuitiva.
- **Ex Ordo [15]:** Especializado en conferencias académicas, ofrece una interfaz moderna y soporte dedicado, pero tiene un costo elevado. Es utilizado por organizaciones como IEEE [16] y la American Chemical Society [17].
- **OpenConf [18]:** Propone algoritmos de asignación como Topics Match y Weighted Topics Match. En la comparativa realizada por Jain et al. [12], se destaca por ofrecer funcionalidades como definición de roles, soporte para múltiples conferencias y envío de recordatorios.

Estos sistemas, sin embargo, enfrentan desventajas comunes como la complejidad de implementación, falta de transparencia, perfiles de revisores desactualizados y asignaciones subóptimas. La integración de los hallazgos de la investigación académica sobre RAP, especialmente el uso de bases de datos dinámicas, algoritmos de NLP avanzados y modelos de optimización equitativos, ofrece una base sólida para diseñar un sistema que supere estas limitaciones y garantice revisiones justas y eficientes para congresos como CoNaIISI.

## II. Objetivo general

Mejorar el proceso de asignación de evaluadores de artículos en el Congreso Nacional de Ingeniería Informática y Sistemas de Información (CoNaIISI) mediante el diseño de un sistema dinámico de recomendación de evaluador-artículo, para ser utilizado en la edición 2026 de este congreso. Este sistema permitirá a los Chairs asignar evaluadores de manera consistente y alineada con el eje temático correspondiente, en un tiempo no mayor a 5 minutos.

## III. Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo anterior, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Asegurar un número mínimo de 3 revisiones por artículo a evaluar cuando el número de evaluadores lo permita.
- Incrementar la calidad de las revisiones, considerando criterios de puntualidad, utilidad y responsabilidad.
- Asegurar el tiempo de asignación y reasignación de revisores a menos de 5 minutos.

## IV. Metodología y Elementos del Trabajo

Para el desarrollo del proyecto, se adoptó un enfoque metodológico híbrido. Para las fases de análisis e implementación del software, se empleó la metodología en cascada, para las etapas de desarrollo y pruebas se implementó la metodología SCRUM. La decisión de utilizar la metodología en cascada en la etapa inicial se fundamentó en la necesidad de establecer una base sólida y bien definida del alcance del proyecto. Esto permitió pasar a un modelo de desarrollo más iterativo y flexible con SCRUM. Para el diseño del sistema, se optará por un enfoque orientado a objetos. Este permitirá construir el sistema aprovechando las ventajas que este paradigma proporciona, como lo son la modularidad, escalabilidad y el fácil mantenimiento. En cuanto a la solución lógica del problema de asignación, se utilizará la metodología de investigación de operaciones. Para ello, se plantea el problema por medio de una previa observación del actual proceso de negocio. Esto permitirá identificar y definir variables de decisión para posteriormente establecer una función objetivo, la cual permitirá maximizar la similitud entre los evaluadores y los artículos. Para la resolución de este modelo, se utilizarán librerías de optimización, como Google OR-Tools.

**Herramientas de Apoyo:** A lo largo de este proyecto se hizo uso de diferentes herramientas que faciliten la implementación de la metodología elegida, garantizando una comunicación eficiente y un desarrollo coordinado del proyecto.

- **Jira:** Plataforma de gestión ágil que permite planificar sprints, asignar tareas y rastrear el progreso.
- **Google Meet:** Herramienta de videollamadas para realizar reuniones Scrum.
- **Google Drive:** Espacio en la nube para almacenar documentos compartidos.
- **GitHub:** Plataforma de control de versiones para gestionar el código fuente.

## V. Diseño y Desarrollo

El sistema desarrollado se basó en una métrica de similitud temática calculada mediante embeddings semánticos y un sistema de puntuación de evaluadores basado en su desempeño histórico, que permiten identificar a los evaluadores más adecuados para cada artículo, que mediante un modelo de red optimiza la calidad y pertinencia de las evaluaciones. A continuación, se detallan los componentes principales del sistema, la arquitectura propuesta y las decisiones de diseño que sustentan la solución.

Las **Reglas de Negocio:**

- El evaluador debe tener la URL de su Google Scholar en su perfil de OCS.
- Los evaluadores con al menos un paper publicado en Google Scholar fueron elegibles para asignación automática, mientras que aquellos sin publicaciones requirieron asignación manual por parte del Chair.
- Bajo condiciones normales, un evaluador tiene un plazo de 5 días hábiles desde que se realizó la asignación para confirmar o rechazar la misma.
- Bajo condiciones normales, un evaluador tiene un plazo de 15 días hábiles desde que se realizó la asignación para evaluar el artículo.
- Un artículo debe ser enviado por un solo autor. En caso de tener más de un autor, el resto debe ser registrado como coautor.
- Una revisión finalizada debe tener obligatoriamente un puntaje por parte del autor y una por parte del Chair.
- Un artículo debe ser revisado por al menos tres evaluadores.
- Se deben establecer las fechas de Apertura de Recepción de Artículos, Cierre de Recepción de Artículos, Notificación de Aceptación a los Autores, Fecha de Inicio del Congreso y Fecha de Finalización del Congreso.

### *V-A. Flujo Principal*

A la hora de realizar el modelado del sistema, primeramente se realizó una **descripción del flujo:** el proceso comienza con el autor quien realiza la actividad ‘Enviar Artículo’, momento en el cual el artículo queda en estado ‘Por Asignar’. Para que el autor pueda hacer esto, debe estar registrado en el sistema.

Posteriormente, el timer ejecuta la acción ‘Generar Evaluación de Similitud de Artículos’. Esta evaluación de similitud es luego utilizada por el Coordinador del Congreso cuando realiza la acción ‘Asignar Automáticamente Evaluadores a Artículos’. En este momento se crea por primera el objeto Asignación con estado ‘Preliminar’.

Luego, el Chair decide por cada asignación del artículo si la confirma o no. En caso de rechazar la asignación, esta queda en estado ‘Rechazada’ y el Artículo queda en estado ‘Con asignaciones pendientes’, este estado significa que al artículo le faltan asignar al menos uno de los tres evaluadores necesarios, y debe pasar por la acción de ‘Reasignación’. En caso de confirmar la asignación, el artículo pasa a estado ‘Asignado’ y la asignación a estado ‘Confirmada’. El Chair envía un mensaje a cada evaluador asignado al artículo.

El Evaluador luego realiza la acción de ‘Revisar Solicitud de Revisión’ en la cual puede tomar tres caminos:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



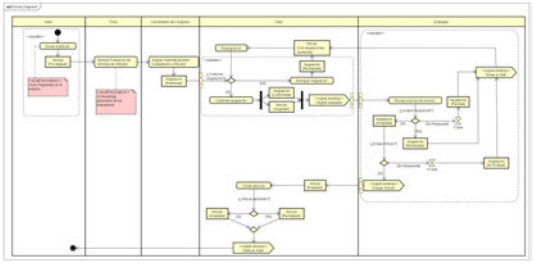


Figura 2. Diagrama de Flujo de Actividad

- Si el evaluador no acepta la asignación, la asignación pasa a estado 'Rechazada' y se envía una señal al Chair. El artículo pasa a estado 'Con asignaciones pendientes' y el Chair puede reasignarlo a otro evaluador.
- Si el evaluador tarda 5 días en contestar desde haber sido notificado, la asignación pasa a estado 'Perdida' y se envía una señal al Chair. El artículo pasa a estado 'Con asignaciones pendientes' y el Chair puede reasignarlo a otro evaluador.
- Si el evaluador acepta la asignación, el estado de la misma pasa a 'Aceptada'. Luego de esto, el evaluador debe evaluar el artículo para lo cual tiene 15 días luego de haber sido notificado de la asignación. Si el evaluador no realiza la revisión en ese plazo, la asignación tiene estado 'Sin Respuesta' y se envía una señal al Chair. El artículo pasa a estado 'Con asignaciones pendientes' y el Chair puede reasignarlo a otro evaluador. En caso de que el evaluador realice la evaluación, se envía una señal al Chair con la evaluación y el estado del artículo pasa a 'Evaluado'.

Desde este punto, el Chair revisa las evaluaciones de los evaluadores para el artículo y realiza la acción 'Tomar decisión', en la cual responde al interrogante: ¿Artículo aprobado?. Si contesta de forma positiva, el artículo pasa al estado 'Aceptado', caso contrario el artículo pasa al estado 'Rechazado'. En cualquiera de los dos casos se notifica al autor mediante un envío de señal.

El flujo termina cuando el Autor recibe la devolución de su artículo.

### *V-B. Arquitectura de OCS y desarrollo del plugin*

Se aprovechó la arquitectura modular de OCS para desarrollar la integración mediante tres componentes clave:

**Sistema de Plugins:** Proporciona integración segura con APIs existentes, gestión automática de dependencias y estados, extensión de interfaz mediante templates, minimizando riesgos y simplificando despliegue.

**Persistencia de Datos (Patrón DAO):** Los componentes ReviewAssignmentDAO, PaperDAO, UserDAO, RoleDAO y NotificationDAO abstraen operaciones de base de datos, proporcionando mapeo objeto-relacional, gestión de transacciones y conexiones, caché de resultados y seguridad contra inyección SQL.

**Sistema de Hooks:** Permite inyección de lógica personalizada mediante eventos donde el core de OCS emite señales y plugins registrados reaccionan como observadores, ejecutando callbacks en eventos específicos.

**Librerías y Extensiones:** El desarrollo de la solución emplea diversas librerías especializadas para la extracción de datos, procesamiento semántico y optimización:

**Scholarly** permite la extracción automatizada de datos desde Google Scholar mediante métodos como *search_author_id* para localizar autores y *fill* para obtener información detallada de perfiles y publicaciones, incluyendo metadatos bibliográficos completos.

**SentenceTransformer** facilita el acceso a modelos de embeddings mediante una interfaz simple.

El modelo **BAAI/bge-m3** [19] de embedding multilingüe, que con capacidades para capturar relaciones semánticas complejas en tareas de recuperación de información y matching de documentos en más de 100 idiomas. La elección se fundamentó en múltiples criterios técnicos y contextuales específicos para el dominio académico del CoNaIISI. El soporte nativo para español e inglés. La arquitectura híbrida del BGE-M3 integra tres modalidades de recuperación (densa, dispersa y multi-vector), que si bien en la practica solo se utilizara una, de ser necesario se podria refinar el calculo de la similitud mediante estas otras modalidades. La dimensionalidad de 1024 del espacio vectorial proporciona un equilibrio entre expresividad semántica y eficiencia computacional. La disponibilidad del modelo, garantiza integración directa con el pipeline de procesamiento desarrollado, evitando dependencias externas complejas o APIs comerciales que podrían comprometer la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

**OR-Tools** proporciona herramientas de optimización combinatoria.

**PgVector** extiende PostgreSQL con capacidades de búsqueda por similitud vectorial, permitiendo almacenar embeddings junto a datos relacionales tradicionales.

**Smarty** es un motor de plantillas desarrollado en PHP que permite separar la lógica de aplicación de la capa de presentación, facilitando el mantenimiento y la reutilización de código. Se utilizó este sistema para desarrollar las interfaces de usuario integradas a OCS.

El sistema implementado incluye varias interfaces, dos de las principales se ven a continuación. La primera, mostrada en la Figura 3, permite al Chair realizar la asignación automática de evaluadores, modificar asignaciones existentes mediante reasignación manual o automática, y enviar notificaciones a los evaluadores correspondientes una vez que esta conforme. La segunda interfaz, presentada en la Figura 4, facilita la evaluación del desempeño de los evaluadores por parte de Chairs, alimentando el sistema de puntuación.

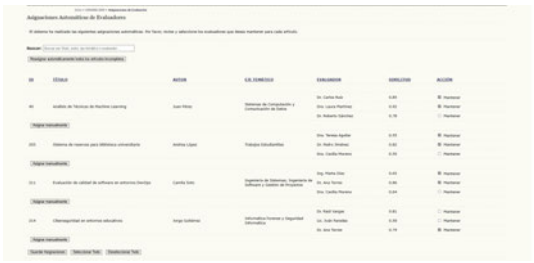


Figura 3. Pantalla para la Asignación Automática de Evaluadores

Se propone un plugin nativo para OCS que optimiza asignación de evaluadores mediante integración directa con la arquitectura existente, facilitando adopción al mantener experiencia de usuario conocida.

**Flujo de Procesamiento del Plugin:**

Se diseñó el plugin para operar mediante cinco componentes que se integraron de la siguiente manera:

**Extracción (AssignmentExporter):** Identifica revisores mediante join User-Role, filtrando por rol de evaluador.

**Transformación (AssignmentMapper):** Convierte objetos PHP a JSON (Reviewers.json, Papers.json) para procesamiento externo y viceversa.

**Procesamiento Externo:** El microservicio SistemaAsignacion procesa datos y retorna Assignment.json.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



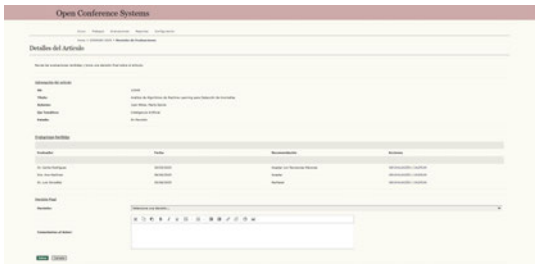



Figura 4. Pantalla para de puntacionn de Evaluación

**Presentación (Template):** AssignmentConfirmationForm presenta resultados al Chair mediante templates de OCS inyectados via Template Manager.

**Persistencia (AssignmentImport):** Almacena asignaciones confirmadas via DAORegistry.

**Evaluación(HookRegistry):** Utiliza hook "ReviewerAction::recordRecommendation" para activar RatingForm cuando se completa revisión, permitiendo puntuación mediante template Rating.tpl.

El Sistema de Asignación es un Microservicio en Python con FastAPI que expone endpoints /assign (genera asignaciones óptimas) y /rating (registra puntajes). Procesa Paper.json almacenándolo via JsonToSqlMapper y PersistPaper, mientras que Reviewer.json es procesado por SentenceTransformer con Scholarly para generar embeddings almacenados en PgVector, creando una matriz de similitud que evita asignaciones conflictivas (mismo autor-revisor, incompatibilidad temática, misma afiliación).

**ModeloAsignacion** recupera MatrizSimilitud.sql mediante MatrizSimilitudQuery y utiliza OR-Tools para ejecutar el modelo de flujo de costo mínimo, asignando evaluadores basándose en valores de similitud y puntajes, manteniendo condiciones mínimas de revisión para certificación. Genera Assignment.json con asignaciones propuestas, devuelto al plugin via Response.

La red del problema que se elaboró y que se resuelve como parte de la implementación, se puede observar en la siguiente figura, donde $E_i$ (evaluador i) tiene una oferta $CMax_i$ determinada de evaluaciones que esta dispuesto a realizar en esta edición. Los dos nodos $E_{im}$ y $E_{ir}$ tienen como función garantizar que evaluara una cantidad mínima de artículos para que obtenga el certificado, $E_iT_u$ representa los ejes temáticos para los cuales el evaluador esta cualificado, finalmente $A_j$ representa al artículo j. $D_f$ y $O_f$ son nodos de demanda y oferta ficticia respectivamente.

La similitud ($S_{ij}$) se utilizo para asignar artículos a evaluadores con experiencia relevante, garantizando revisiones informadas. Simultáneamente, el uso del puntaje final del evaluador ($P_{fi}$) en la función de costo permite que el modelo tienda a asignar artículos de manera preferencial a quienes históricamente han ofrecido devoluciones de mayor calidad, incentivando así la excelencia y la participación continua.

Para mantener limpia y legible la expresión matemática del modelo, se utilizarán las siguientes expresiones.

**Parámetros:**
$C_e$: cantidad de evaluadores.
$C_a$: cantidad de artículos.
$C_{X_{i2}}$: costo de revisiones por encima de la mínima del evaluador $i$.
$u$: ejes temáticos.
$S_{ij}$: similitud del evaluador $i$ y el artículo $j$.

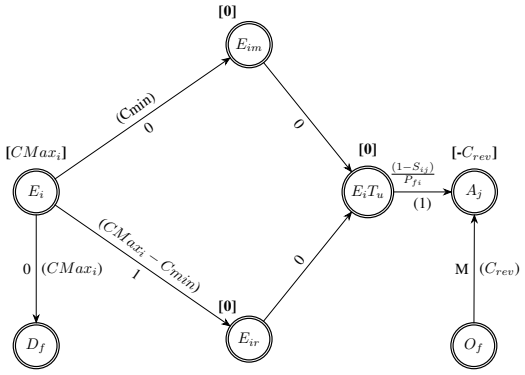



Figura 5. Parte genérica del modelo de red para un evaluador $E_i$ y un artículo $A_j$

$P_{fi}$: puntaje final del evaluador $i$.

**Variables de decisión:**
$X_{i1}$: cantidad mínima de evaluaciones mínimas que hace el evaluador $i$.
$X_{i2}$: cantidad de evaluaciones por encima de la mínima del evaluador $i$.
$X_{i1u}$: cantidad de evaluaciones mínima del evaluador $i$ que van al eje temático $u$.
$X_{i2u}$: cantidad de evaluaciones por encima de la mínima del evaluador $i$ que van al eje temático $u$.
$X_{iuj}$: cantidad de evaluaciones del evaluador $i$ al artículo $j$ en el eje temático $u$.
$XO_{f,j}$: cantidad de evaluaciones ficticias del artículo $j$ (cuando la cantidad de evaluadores no es suficiente).
$XD_{i,f}$: diferencia entre la cantidad máxima de evaluaciones que el evaluador puede realizar y las que efectivamente realiza.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{C_e} C_{Xi2} X_{i2} + \sum_{u=1}^{8} \sum_{j=1}^{Ca} \sum_{i=1}^{C_e} \left( \frac{1 - S_{ij}}{P_{fi}} \right) X_{iuj} + M \sum_{j=1}^{Ca} XO_{f,j} \quad (1)$$

$S.a.$

$$X_{i1} + X_{i2} + XD_{i,f} = CMax_i, \forall i \in \{1, \ldots, C_e\}$$

$$-X_{i1} + \sum_{u=1}^{8} X_{i1u} = 0, \forall i \in \{1, \ldots, C_e\}$$

$$-X_{i2} + \sum_{u=1}^{8} X_{i2u} = 0, \forall i \in \{1, \ldots, C_e\}$$

$$-X_{i1u} - X_{i2u} + \sum_{j=1}^{Ca} X_{iuj} = 0, \forall i \in \{1, \ldots, C_e\}; u \in \{1, \ldots, 8\}$$

$$-\sum_{i=1}^{C_e} X_{iuj} - XO_{f,j} = -C_{rev}, \forall j \in \{1, \ldots, C_a\}$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$$X_{i1} \leq CMin, \forall i \in \{1, \ldots, C_e\}$$

$$X_{i2} \leq CMax_i - CMin, \forall i \in \{1, \ldots, C_e\}$$

$$X_{iuj} \leq 1, \forall i \in \{1, \ldots, C_e\}; u \in \{1, \ldots, 8\}; j \in \{1, \ldots, C_a\}$$

La elección de un modelo de flujo capacitado de costo mínimo, resoluble en tiempo polinomial a través de simplex de redes [10], no solo garantiza la escalabilidad del sistema, sino que también lo hace robusto frente a variaciones en el tamaño de la red (número de evaluadores, artículos o ejes temáticos). Esta propiedad es particularmente valiosa en contextos académicos dinámicos, donde el volumen de datos puede aumentar significativamente entre ediciones de una conferencia o al expandirse a eventos internacionales.

**Procesamiento del Puntaje [20]:**

El sistema de puntuación se diseñó para recompensar e incentivar a aquellos evaluadores que dan devoluciones de calidad y utilidad y desalentar comportamientos que comprometen el proceso de evaluación.

Para determinar la calidad de una devolución, el sistema utiliza las puntuaciones otorgadas por dos fuentes complementarias: los Autores del artículo y los Chairs ($P_{a,u}$ y $P_{c,u}$). Los autores evaluaran la utilidad práctica de las correcciones para mejorar su trabajo, mientras que los Chairs evaluaran la profundidad técnica y pertinencia académica de las revisiones. Una 'buena devolución' sera aquella valorada positivamente por ambas partes, caracterizada por retroalimentación constructiva, detallada y justificada.

Para incentivar la responsabilidad y puntualidad, se diseñó un sistema de penalizaciones que depende del comportamiento del evaluador. Se asignó un puntaje de penalización para dos escenarios, uno para aquellos evaluadores que no respondieron dentro del plazo establecido, y otro para aquellos que aceptaron la asignación, pero no dio una devolución a tiempo. Esta decisión se fundamentó en la necesidad de mantener la integridad temporal del proceso de revisión. Este puntaje castigo reemplaza la fórmula $P_{i,t}$ detallada abajo, cuando esto sucede.

Se incorporó un factor de decaimiento temporal ($\theta$) reconociendo que el desempeño reciente de un evaluador es más predictivo de su comportamiento futuro que su historial lejano. El puntaje inicial ($\gamma$) se calibró para equilibrar la participación de evaluadores novatos versus experimentados. Valores cercanos a 1 favorecen la incorporación de nuevos evaluadores, promoviendo la renovación del cuerpo evaluador, mientras que valores menores priorizaron la experiencia de participaciones previas.

Para el resto de los casos el cálculo del puntaje del evaluador se calcula de la siguiente manera:

$P_{i,t}$: puntaje del evaluador (de todas sus evaluaciones) en el periodo t, se calcula como un promedio de todas sus evaluaciones en ese periodo, dividido la cantidad de evaluaciones (debe estar entre 0 y 1).
$C_{i,t}$: cantidad de evaluaciones del evaluador $i$ en el período $t$.
$P_{f,i}$: puntaje final del evaluador $i$.
$\theta$: decaimiento temporal.
$\gamma$: puntaje inicial del evaluador, valores más cercanos a 1 generarán un recambio más fuerte de nuevos evaluadores.
$P_{a,u}$: puntuación que le dio el autor por la devolución $u$ al evaluador entre 0 y 1.
$P_{c,u}$: puntuación que le dio el chair por la devolución u al evaluador entre 0 y 1.
$C_{fi}$: cantidad de participación del evaluador $i$ en los últimos 5 años.
$\delta_{i,t}$: 1 si el evaluador $i$ participó en la edición $t$, 0 si no.
$a$: período correspondiente a la edición actual.

El puntaje por período se calculó como:

$$P_{i,t} = \begin{cases} 0, & \text{si } C_{i,t} = 0 \\ \dfrac{\sum_{u=1}^{C_{i,t}} \frac{P_{cu} + P_{au}}{2}}{C_{i,t}}, & \text{si } C_{i,t} > 0 \end{cases}$$

El puntaje final ponderado se determinó mediante:

$$P_{fi} = \begin{cases} \gamma, & \text{si } C_{f,i} = 0 \\ \sum_{t=1}^{5} \dfrac{\theta^{t-1}\delta_{i,a-t}P_{i,a-t}}{\sum_{t'=1}^{5} \theta^{t'-1}\delta_{i,a-t'}}, & \text{si } C_{f,i} > 0 \end{cases}$$

Donde el indicador de participación se definió como:

$$\delta_{it} = \begin{cases} 1 & \text{si el evaluador } i \text{ participó en la edición } t \\ 0, & \text{si no} \end{cases}$$

Y la cantidad total de participaciones como:

$$C_{fi} = \sum_{t=1}^{5} \delta_{i,t}$$

Este sistema de puntuación se integra directamente en el modelo de asignación mediante el término $\frac{1-S_{ij}}{P_{f,i}}$, donde evaluadores con mayor puntaje final obtienen mayor prioridad en las asignaciones.

## VI. Verificación

En esta sección se analizó el nivel de cumplimiento alcanzado de cada uno de los objetivos específicos establecidos al comienzo del proyecto.

**Objetivo Específico 1:** Asegurar un número mínimo de 3 revisiones por artículo a evaluar cuando el número de evaluadores lo permita. **Nivel de cumplimiento:** Total.
**Descripción:** Se ha diseñado un modelo matemático que asegura que cada artículo tenga como mínimo tres asignaciones gracias a sus restricciones.
**Pruebas realizadas:** El objetivo no necesita pruebas, ya que se verifica con las características de la solución del modelo, y por el diseño.

**Objetivo Específico 2:** Incrementar la calidad de las revisiones, considerando criterios de puntualidad, utilidad y responsabilidad.
**Nivel de cumplimiento:** Parcial.
**Descripción:** Se implementó un modelo de similitud que permite evaluar el grado de adecuación de una asignación evaluador-artículo, así como un sistema de puntuación de evaluadores que será utilizado por Chairs y Autores para calificar los criterios mencionados, el cual se utiliza en el modelo de asignación.
**Pruebas realizadas:** Al momento de la entrega, no se han realizado pruebas sobre una edición real de CONAIISI, por falta de implementación. Para asegurar que el modelo se vea realmente afectado por la puntuación de los evaluadores, además, es ideal que se tengan en cuenta las puntuaciones de hasta cinco ediciones anteriores. Aún así, es esperable que la métrica de similitud en conjunto con la puntuación de los evaluadores aplicados en el modelo matemático, permitan obtener mejores asignaciones y evitar aquellos evaluadores que tengan malas puntuaciones por no cumplir con los criterios.

Para evaluar el rendimiento del modelo seleccionado para generar la métrica de similitud en este contexto, se han realizado pruebas con datos extraídos del **arXiv Dataset** el cual provee acceso abierto a artículos académicos de muchos ejes temáticos. El dataset contiene

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



una entrada por cada artículo.

Se tomaron los 5000 primeros artículos y se seleccionaron 50 artículos de este conjunto.
Se parafrasearon los resúmenes (abstracts) de estos 50 artículos, tanto en español como inglés (relevante para nuestro contexto dado que el dataset se encuentra en idioma inglés) y se creó una base de datos en Postgres.
Luego, se generaron los embeddings de los resúmenes originales de 5000 artículos, así como de los 50 resúmenes parafraseados.
Posteriormente, se midió la efectividad del modelo utilizando la métrica de similitud coseno, determinando en cuántos casos el artículo original correspondiente a un resumen parafraseado se identificó como el más similar (primer puesto) y en cuántos se encontraba entre los cinco más similares (top 5).

Los **experimentos** demostraron que en todos los casos se devuelve el abstract original, como el mas similar al parafraseado.

El alto puntaje de las similitudes, que alcanzan hasta 0.9, valida la efectividad del modelo BAAI/bge-m3 para capturar relaciones semánticas relevantes.

**Objetivo Específico 3:** Reducir el tiempo de asignación y reasignación de revisores a menos de 5 minutos.

**Nivel de cumplimiento:** Total.
**Descripción:** Se ha diseñado un sistema de asignación que utiliza una métrica de similitud temática, que permite medir la similitud entre artículos y revisores, para asignar de manera eficiente evaluadores a los artículos.

**Pruebas realizadas:** Para realizar las pruebas se utilizó el mismo dataset que para la validación del Objetivo 2, donde se generaron los embeddings de 5000 abstracts de artículos. Se dividió a la mitad, formando dos grupos, para los cuales una mitad representa un eje temático con los artículos presentados al congreso, siendo el otro grupo los evaluadores, y viceversa.
Se calculó la matriz de similitud de 5000x5000, y se almacenó en Postgres.
Se aplicó la restricción de que un mismo id de artículo no pueda ser asignado a sí mismo para evitar mediciones incorrectas.
Se aplicó el modelo descrito en el apartado Diseño y Desarrollo.
Se realizó la validación teniendo en cuenta dos ejes temáticos.
Se omitieron las restricciones relacionadas con las filiaciones, asignaciones rechazadas por el evaluador o Chair, y el umbral de similitud (considerando que los papers no pertenecen a ninguna rama específica de la ciencia).
Se omite la influencia del puntaje del evaluador en el costo.
Cada "evaluador" tiene una oferta de 3 y cada "artículo" una demanda de 3.

Los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- Se asignaron todos los evaluadores a los artículos con similitudes mínimas de 0.40 . Las mejores similitudes se aproximan al 0.81.
- Matriz de similitud obtenida con forma: (5000, 5000). Tiempo: 76.0368 seg.
- Tiempo de ejecución del solver (smcf.solve()): 8.9045 segundos.
- Costo total mínimo: 5898.4313
- Tiempo de ejecución del modelo: 50.8218 segundos.
- Tiempo total de la asignación 126.8586 segundos.

El siguiente histograma representa la distribución de los valores de similitud que se obtuvieron al aplicar el modelo a las 15.000 asignaciones realizadas.

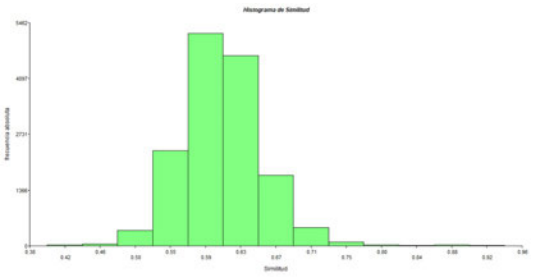


Figura 6. Histograma de distribución de valores de similitud.

El eje X representa los valores de la similitud que van desde 0.40 hasta 0.96. El eje Y representa la frecuencia absoluta de las asignaciones en cada intervalo de similitud, con valores desde 0 hasta 5462.
La mayoría de las similitudes se concentran entre 0.59 y 0.71, con un pico alrededor de 0.63–0.67, donde la frecuencia alcanza aproximandamente 5462 asignaciones.
Hay una cola izquierda hacia valores más bajos (0.40–0.55), con frecuencias menores, indicando que pocas asignaciones tienen similitudes bajas.
También hay una cola derecha hacia valores más altos (0.71–0.96), pero con frecuencias decrecientes, lo que sugiere que las similitudes más altas son menos comunes.
La distribución tiene un sesgo a la derecha (positiva), con un pico claro cerca de 0.65, lo que indica que el modelo tiende a asignar valores de similitud moderadamente altos en la mayoría de los casos. Este análisis será importante a futuro para determinar el valor del umbral.

El tiempo total de asignación (126.86 segundos) es significativamente inferior al objetivo establecido de 5 minutos (300 segundos), demostrando que el sistema cumple con los requisitos de eficiencia. Además, la cantidad de artículos procesados (5,000) es aproximadamente 25 veces superior al promedio de artículos recibidos por CoNaIISI (estimado en 200 artículos) por año, lo que sugiere que el sistema es robusto y escalable para escenarios reales con volúmenes de datos más pequeños. La omisión de restricciones adicionales (como filiaciones o umbrales de similitud) permitió evaluar el comportamiento del sistema en condiciones generales, mientras que la restricción de oferta y demanda aseguró una distribución equitativa de las asignaciones.

En conclusión, las pruebas confirman que el sistema de asignación automática cumple totalmente con el objetivo establecido, demostrando eficiencia, precisión y robustez. Los **resultados obtenidos** respaldan la viabilidad del sistema para su implementación en congresos académicos, con un rendimiento que supera las expectativas en términos de tiempo y calidad de las asignaciones.

## VII. Conclusión

Este trabajo aborda la necesidad de soportar la asignación de evaluadores para el CoNaIISI, mejorando la calidad de las revisiones a través de un plugin personalizado para Open Conference Systems (OCS). Se ha propuesto el uso de perfiles de *Google Scholar* y un algoritmo de asignación basado en similitud y puntuaciones que se incorporan en un modelo de optimización basado en flujo de costo mínimo, que cuenta con un algoritmo muy eficiente para su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



resolución, lo que asegura su escalabilidad. Se confirmó mediante la construcción de un MVP que la tecnología es compatible con OCS y se planea continuar analizando la implementación y escalabilidad, con la posibilidad de adaptarla a otros congresos.

Entre las lecciones aprendidas durante este Proyecto Final de Carrera se mencionan las siguientes:

- La colaboración mejora la calidad y la eficiencia, la asignación estratégica de tareas y una comunicación clara fueron fundamentales para optimizar los resultados.
- El desarrollo de un MVP agiliza la validación, crear un prototipo funcional (MVP) fue clave para validar la viabilidad técnica, identificar requisitos no contemplados y calibrar el algoritmo de asignación.
- Las pruebas continuas aseguran la calidad, incorporar pruebas unitarias, de integración y de rendimiento en cada fase permitió detectar errores de manera temprana y garantizar el cumplimiento de los objetivos.

## Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestro tutor, Dr. Ing. Carlos Casanova, cuya dedicación, orientación experta y paciencia infinita fueron fundamentales para culminar este trabajo.

## Referencias

[1] "RIISIC red de ingeniería en informática e ingeniería en sistemas de información del CONFEDI," https://sites.google.com/view/riisic/, accessed: 2024-03-13.

[2] "CONFEDI documentos estratégicos del CONFEDI," https://confedi.org.ar/documentos-estrategicos/, accessed: 2025-04-04.

[3] "Sistema para la recepción de trabajos del conaiisi," http://conaiisi.frc.utn.edu.ar/envios/index.php/index/index/index/index, accessed: 2025-04-04.

[4] "CONICET consejo nacional de investigaciones científicas y técnicas," https://www.conicet.gov.ar, accessed: 2024-03-15.

[5] "OCS open conference system," https://pkp.sfu.ca/software/retired/, accessed: 2024-10-19.

[6] J. Wang, Y. Chen, and Y. Zhang, "A survey of reviewer assignment methods in academic conferences," *Journal of Computer Science*, vol. 15, no. 3, pp. 245–260, 2018.

[7] "FOLEC-CLACSO foro latinoamericano sobre evaluación científica," https://www.clacso.org, accessed: 2024-03-15.

[8] D. Chandrasekaran and V. Mago, "Evolution of semantic similarity - a survey," *ACM Computing Surveys*, vol. 53, no. 6, pp. 1–35, 2020.

[9] D. G. Cattrysse and L. N. van Wassenhove, "A survey of algorithms for the generalized assignment problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 60, no. 3, pp. 260–272, 1992.

[10] W. L. Winston and J. B. Goldberg, *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos*. Thomson Mexico, Mexico, 2005, vol. 4.

[11] W. D. Cook, B. Golany, M. Kress, M. Penn, and T. Raviv, "Optimal allocation of proposals to reviewers to facilitate effective ranking," *Management Science*, vol. 51, no. 4, pp. 655–661, 2005.

[12] M. Jain, T. K. Tewari, and S. K. Singh, "Survey of conference management systems," *International Journal of Computer Applications*, vol. 2, no. 2, pp. 14–20, 2010.

[13] EasyChair, "Easychair conference management system," https://easychair.org/, 2025, accessed: 2025-05-13.

[14] Microsoft Research, "About conference management toolkit," https://cmt3.research.microsoft.com/About, 2025, accessed: 2025-05-13.

[15] Ex Ordo. (2024) About us. Accessed: 2025-05-13. [Online]. Available: https://www.exordo.com/about-us

[16] "IEEEMCE obtaining sponsorship," https://ieeemce.org/planning-basics/getting-started/obtaining-sponsorship/#:~:text=IEEE%20organizational%20units%20%28OUs%29%20can%20provide%20sponsorship%20to,technical%2C%20publicity%2C%20and%20administrative%20running%20of%20the%20conference, accessed: 2024-03-20.

[17] American Chemical Society. (2024) About acs. Accessed: December 2024. [Online]. Available: https://www.acs.org/content/acs/en/about.html

[18] "OpenConf peer-review, abstract and conference management," https://www.openconf.com, accessed: 2024-03-16.

[19] J. Chen, S. Xiao, P. Zhang, K. Luo, D. Lian, and Z. Liu, "Bge m3-embedding: Multi-lingual, multi-functionality, multi-granularity text embeddings through self-knowledge distillation," *arXiv preprint arXiv:2402.03216*, 2024.

[20] L. Bornmann, "Scientific peer review," *Annual Review of Information Science and Technology*, vol. 45, no. 1, pp. 199–245, 2011.

[21] Y. Kalmukov, "An algorithm for automatic assignment of reviewers to papers," *Scientometrics*, vol. 124, no. 3, pp. 1811–1850, 2020.

[22] K. Chowdhary and K. Chowdhary, "Natural language processing," *Fundamentals of artificial intelligence*, pp. 603–649, 2020.

[23] S. T. Dumais and J. Nielsen, "Automating the assignment of submitted manuscripts to reviewers," in *Proceedings of the 15th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, 1992, pp. 233–244.

[24] W. H. W. Ishak, F. M. Yamin, M. F. M. Mohsin, and M. F. Mansor, "A comparative review of conference management system," *Journal of Technology and Operations Management*, vol. 18, no. 2, pp. 87–93, 2023.

[25] P. Rigaux, "An iterative rating method: Application to web-based conference management," in *Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing*, 2004, pp. 1682–1687.

[26] S. Halevi, "Web submission and review software," 2003.

[27] "ICORE international core conference rankings: Icore," https://www.core.edu.au/icore-portal, accessed: 2025-04-04.

[28] "EDUNAM comité de asignación de evaluadores," https://editorial.unam.edu.ar/index.php/como-publicar-2/comite-de-asignacion-de-evaluadores, accessed: 2024-03-15.

[29] "CONFEDI objetivos direccionales del CONFEDI," https://confedi.org.ar/objetivos-direccionales/, accessed: 2025-04-04.

[30] "scimagojr scimago journal & country rank," https://www.scimagojr.com/, accessed: 2024-05-23.

[31] "Springer obtaining sponsorship," https://www.springernature.com/gp/societies, accessed: 2024-03-20.

[32] "IGPC instituto de gestión de proyectos científicos," https://cientifica.org.ar/instituto-de-gestion-de-proyectos-cientificos/, accessed: 2024-10-19.

[33] "25.326 ley 25.326 - proteccion de los datos personales," https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25326-64790/actualizacion, accessed: 2024-10-19.

[34] "11.723 ley 11.723 - regimen legal de la propiedad intelectual," https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-11723-42755/texto, accessed: 2024-10-19.

[35] "25.922 ley 25.922 - ley de promocion de la industria del software," https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25922-98433/actualizacion, accessed: 2024-10-19.

[36] "22.362 ley 22.362 - ley de marcas y designaciones," https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-22362-18803/actualizacion, accessed: 2024-10-19.

[37] "26.388 ley 26.388 - codigo penal," https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26388-141790/texto, accessed: 2024-10-19.

[38] "ImpaCT.AR programa impact.ar," https://www.argentina.gob.ar/ciencia/sact/impactar, accessed: 2025-05-08.

[39] "27.275 ley 27.275 - derecho de acceso a la informacion publica," https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27275-265949, accessed: 2024-10-19.

[40] "25.675 ley 25.675 - politica ambiental nacional," https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25675-79980/texto, accessed: 2024-10-19.

[41] "4977/09 decreto provincial 4977/09 - estudio de impacto ambiental," https://www.entrerios.gov.ar/boletin/calendario/Boletin/2009/Diciembre/21-12-09.pdf, accessed: 2024-10-19.

[42] "ISO 14001 iso 14001 - sistemas de gestión ambiental — requisitos con orientación para su uso," https://www.iso.org/es/norma/14001, accessed: 2024-10-19.

[43] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill Interamericana, 2015.

[44] W. L. Winston, *Operations Research: Applications and Algorithms*. Thomson Mexico, Mexico, 2004.

[45] D. Mimno and A. McCallum, "Expertise modeling for matching papers with reviewers," *Proceedings of KDD*, 2007.

[46] L. Charlin and R. S. Zemel, "The toronto paper matching system: An automated paper-reviewer assignment system," *ICML Workshop on Peer Reviewing and Publishing Systems*, 2013.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[47] R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, and J. B. Orlin, "Network flows: Theory, algorithms, and applications," *Prentice Hall*, 1993.
[48] X. Zhao and Y. Zhang, "Reviewer assignment algorithms for peer review automation: A survey," *Information Processing & Management*, 2022. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306457322001388
[49] J. García and Others, "The association of gender, experience, and academic rank in peer-reviewed manuscript evaluation," *Accountability in Research: Ethics, Integrity and Policy*, vol. 0, no. 0, pp. 1–3, 2024, online ahead of print.
[50] B. Li and Y. T. Hou, "The new automated ieee infocom review assignment system," *IEEE Network*, vol. 30, no. 5, pp. 18–24, 2016.
[51] C. D. Manning, P. Raghavan, and H. Schütze, *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008, chapter on Latent Semantic Indexing, disponible en https://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/latent-semantic-indexing-1.html. [Online]. Available: https://nlp.stanford.edu/IR-book/
[52] J. Whitten and L. Bentley, *ANALISIS DE SISTEMAS DISEÑO Y METODOS*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2008. [Online]. Available: https://books.google.com.ar/books?id=wFsgQwAACAAJ
[53] M. E. Alvarado Rivas, L. M. Cerritos Alfaro, C. E. Fuentes Romero, and L. R. Guzmán Rivera, "Sistema informático para la gestión de bodega y transporte de la oficina general de administración del ministerio de agricultura y ganadería," Ph.D. dissertation, Universidad de El Salvador, 2010.
[54] "Análisis y diseño orientado a objetos - universidad abierta y a distancia de méxico," https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCEIT/BLOQUE1/DS/02/DDOO/U1/descargables/DDOO_Unidad_1.pdf, accessed: 2024-10-19.
[55] K. Schwaber and J. Sutherland, *La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas Del Juego*, ser. Retrospectiva del Sprint de Nexus. Scrum.org., 2013. [Online]. Available: https://books.google.com.ar/books?id=N9kkzgEACAAJ
[56] "Métodos orientados a objetos - daniel rodríguez garcía -departamento de ciencias de la computación - universidad de alcalá," https://www.cc.uah.es/drg/docencia/Metodologias/IntroOO.pdf, accessed: 2024-10-19.
[57] "Técnicas de estimación ágil: tres estrategias para estimar," https://www.scrummanager.com/blog/2023/07/tecnicas-de-estimacion-agil-tres-metodos/, accessed: 2024-10-19.
[58] P. M. Institute, *Guâa de Los Fundamentos para la Direcciân de Proyectos (guâa Del PMBOK)*, ser. PMBOK® Guide Series. Project Management Institute, 2014. [Online]. Available: https://books.google.com.ar/books?id=k7MrngEACAAJ

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# SQrum: Aplicación para la Especificación de Requisitos de Calidad del Software

*Juan Pablo Mansilla,[1] Javier Saldarini [1], Claudio Carrizo [1], Carlos Salgado*

*[1] Facultad Regional San Francisco Universidad Tecnológica Nacional {saldarinijavier, cjcarrizo77, juampimansilla }@gmail.com*

*[2] Departamento de Informática Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales-Universidad Nacional de San Luis - e-mail: csalgado@unsl.edu.ar*

**Resumen**

*Las organizaciones dedicadas al desarrollo de software adoptan diversas metodologías y un creciente ecosistema de herramientas, para dar soporte al desarrollo y mantenimiento de productos de software, de manera sistemática los proyectos priorizan los requisitos funcionales por sobre los requisitos no funcionales o de calidad, lo que deriva en ambigüedad, retrabajo y resultados inconsistentes.*

*Este trabajo aborda esa problemática y propone una solución centrada en la calidad de productos de software con un enfoque basado en SQuaRE que guía, desde etapas tempranas, la identificación de Necesidades de Calidad y su transformación en Requisitos de Calidad claros, verificables y alineados con el trabajo iterativo en metodologías ágiles.*

*Específicamente, se presenta una solución que consiste en una app integrada a Jira Cloud que está enfocada para dar soporte al proceso de especificación de requisitos de calidad de software, la medición y la evaluación de atributos concretos de calidad.*

## Introducción

El desarrollo de software es un proceso dinámico y en constante evolución, que abarca la creación, diseño, implementación, prueba y mantenimiento de aplicaciones y sistemas informáticos. A medida que el campo de la informática ha avanzado, también lo han hecho las herramientas y tecnologías empleadas en el desarrollo de software, desde lenguajes de programación de alto nivel, hasta entornos de desarrollo integrados y metodologías ágiles [1].

En la actualidad, el software se desarrolla de manera rápida para aprovechar las actuales oportunidades, con la finalidad de responder ante la amenaza competitiva, con lo cual, la entrega y el desarrollo rápido son por lo general el requerimiento fundamental [2].

Para dar respuesta a lo antes mencionado, surgen en la década del 90 las metodologías ágiles para el desarrollo de software, las cuales se basan en el Manifiesto Ágil [3], y son ampliamente adoptadas por la industria del software en la actualidad. En este sentido, autores como Sommerville [2] y Pressman [4] coinciden en que las más reconocidas en la industria del software son: Scrum [5] y Programación Extrema [6].

En el desarrollo ágil de software se promueve una gestión mínima de documentación que aporte valor a un usuario; a menudo se priorizan requerimientos funcionales sobre los Requerimientos de Calidad (RC). El énfasis puesto en la mínima documentación puede ser una ventaja, pero también una preocupación, especialmente con los RC, ya que son difíciles de especificar y documentar, y son cruciales para el éxito del software [7].

Los RC describen la calidad deseada del software y juegan un papel importante en el éxito de los proyectos de software; a menudo en el desarrollo ágil de software, los RC están mal definidos y también existe un conocimiento sintetizado o limitado sobre su manejo [8].

Somerville [2] expresa que un problema común con los requerimientos no funcionales o de calidad es que los usuarios o clientes, con frecuencia, proponen estos requerimientos como metas generales, donde esas metas suelen ser buenas intenciones, y dejan espacio para la interpretación y la disputa posterior una vez que se entregue el sistema; también remarca, que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



siempre que sea posible, se deberán escribir de manera cuantitativa los requerimientos no funcionales, de manera que puedan ponerse objetivamente a prueba.

La calidad del software es abordada en la literatura por varios autores y organismos; por ejemplo, R. Pressman [4], la define como "el cumplimiento de los requerimientos de funcionalidad y desempeño explícitamente establecidos, de los estándares de desarrollo explícitamente documentados, y de las características implícitas que se espera de todo software desarrollado profesionalmente".

Por su parte en IEEE [9] se expresa que "La calidad del software es el grado con el que un sistema, componente o proceso cumple los requerimientos especificados y las necesidades o expectativas del cliente o usuario". También, en ISO/IEC 25010 [10], se la define como "el grado en que el producto software satisface las necesidades expresadas o implícitas, cuando es usado bajo condiciones determinadas".

En la familia de Normas ISO/IEC 25000 [11] encontramos un esquema organizado y orientado tanto a la especificación, como a la evaluación de RC, para garantizar la calidad de los productos software.

Otro aspecto importante a destacar es que como soporte a las metodologías o marcos de trabajo que se apliquen para guiar el desarrollo del software, en este último tiempo han surgido distintas herramientas o plataformas que permiten llevar a cabo la gestión de los proyectos de desarrollo de software. En este sentido en [12] se describen y comparan herramientas como Jira, ClickUp, Sprintly, Redmine, Stackfield, Kanbanize, Open Project, Hive, entre otras.

También se indica que con más de 65. 000 usuarios alrededor del mundo, Jira Software se encuentra entre las soluciones más utilizadas para la gestión de proyectos y que esta solución facilita el desarrollo e integración de add-ons a través del del marketplace que ofrece Atlassian [13].

Dentro de ese contexto es que se el proyecto final de carrera se enfoca en el desarrollo de una app denominada SQrum, la cual se integra a Jira Cloud para dar soporte al proceso de especificación de requisitos, la medición y la evaluación de atributos concretos de calidad.

La solución está centrada en la calidad de productos de software. con un enfoque basado en SQuaRE [14] que guía, desde etapas tempranas, la identificación de Necesidades de Calidad y su transformación en Requisitos de Calidad claros, verificables y alineados con el trabajo iterativo en metodologías ágiles.

La propuesta parte de las Necesidades de Calidad, que se transforman en Requisitos de Calidad siguiendo los lineamientos de la norma ISO/IEC 25030 [15]. Estos requisitos se vinculan con las características definidas, por ejemplo, en el modelo de calidad que propone la norma ISO/IEC 25010 [16]. Posteriormente, se especifican las métricas de atributos concretos recomendadas por la norma ISO/IEC 25023 [17], de manera que, al llevar a cabo dichas mediciones, sea posible realizar una evaluación de los atributos de calidad especificados.

Como beneficios esperados, el enfoque permite reducir la ambigüedad en la especificación, desarrollar una base de conocimiento compartido entre el equipo de desarrollo y estandarizar la gestión de requisitos de calidad, sirviendo como soporte para la toma de decisiones.

De aquí en adelante este trabajo se organiza en 4 secciones. En la sección 1 se presentan los antecedentes y trabajos relacionados a la propuesta; en la sección 2 se describe la arquitectura de la App SQrum; en la sección 3 se detallan las principales funcionalidades y se ejemplifica el uso de la App SQrum a través de una prueba de concepto; en la sección 4 se exponen las conclusiones y trabajos futuros.

## 1- Trabajos Relacionados

Dado el marco y el foco con el cual se desarrolla el presente trabajo, es que, se describen a continuación una serie de alternativas tecnológicas que están orientadas a la especificación de requisitos de calidad de software y la gestión de la calidad en general.
Específicamente algunas de las soluciones encontradas están orientadas al testing de requisitos no funcionales de software tales como el rendimiento, stress, capacidad, carga,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



volumen, durabilidad, usabilidad UX/UI, etc. Algunos ejemplos de estos tipos de soluciones pueden ser Finding [18], Verity [19] y Panel [20]. Si bien estas herramientas permiten realizar mediciones de ciertos atributos de calidad asociados a algunas características de calidad dadas por la Norma ISO/IEC 25000 [14] (como el rendimiento o la usabilidad), no cuentan con ninguna funcionalidad que permita especificar cuáles de estos requisitos deben ser medidos según las necesidades de las partes interesadas, tal como propone el proceso de Definición y Análisis de Requisitos de Calidad de la Norma ISO/IEC 25030 [21].

Otras soluciones tomadas como referencia fueron aquellas diseñadas para la gestión de la calidad basadas en alguna norma de calidad. Principalmente se pueden encontrar software basados en ISO 9001, ISO 14001 e ISO 27001 tales como Kawak [22] y Durama [23]. Estas soluciones se encargan de la gestión documental, mejora continua, indicadores, gestión de riesgos y control de procesos. Este tipo de herramientas están concebidas para la gestión de la calidad interna de las organizaciones, riesgos ambientales y seguridad de la información, pero no se encontró ninguna solución específica para la gestión de la calidad del software basada en alguna norma como la ISO/IEC 25000 [14].

En este sentido, también se consideró conveniente investigar aquellas apps alojadas en el Marketplace de Atlassian [13] para la gestión de la calidad y/o el testing. Principalmente se encontraron plugins dedicados al testing funcional tales como QMetry [24] , Xray [25] o Zephyr Squad [26], los cuales permiten el diseño y ejecución de test funcionales, integración con otras herramientas, reportes y analíticas. Sin embargo, estas soluciones no están específicamente enfocadas para la gestión de la calidad de producto de software o requisitos no funcionales.

También es importante remarcar algunos aspectos descriptos en el trabajo "*Herramientas y buenas prácticas para el aseguramiento de calidad de software con metodologías ágiles"* [27] en donde se menciona que pese a que existen frameworks o herramientas para asegurar la calidad del software en un proyecto ágil, aún existen desafíos por solucionar y que además, que por las características y naturaleza de un proyecto desarrollado con metodologías ágiles es necesario contar con un conjunto de buenas prácticas, recomendaciones y herramientas, que, según sea el caso, se apliquen en determinado momento del proyecto.

## 2- Arquitectura de la App

A continuación, se presenta la arquitectura de solución propuesta, para el desarrollo de una app de Jira construida en Atlassian Forge para gestionar calidad mediante necesidades, requisitos y mediciones, integrada con una API REST externa desarrollada en Spring Boot y usando PostgreSQL como gestor de base de datos, en la Figura 1 se muestra el diagrama de la arquitectura.
La API REST concentra lógica de negocio, persistencia y multi-tenancy. Este desacoplamiento evita límites de cuota/almacenamiento de Forge y habilita interoperabilidad futura. En Forge se usa Custom UI (React) y funciones en Node (resolvers y triggers) para invocar con seguridad la API de Jira y la API externa, gestionando secretos en el storage de Forge.

La interfaz ofrece una página global para administrar modelos de calidad, una página de proyecto para operar (crear/seguir necesidades, requisitos y mediciones) y una página de configuración por proyecto; además, paneles personalizados para cada tipo de issue gestionada por la app, un módulo de actividad de issues que registra cada acción y un campo personalizado de solo lectura que expone el estado de calidad.

La integración mantiene correspondencia semántica: Organización Atlassian ↔ Workspace; Proyecto Jira ↔ Project; Usuario Atlassian ↔ User; Issue de Jira ↔ entidades de calidad; Issue Link de Jira ↔ relaciones para trazabilidad. La sincronización es event-driven: al instalar, se inicializa el workspace, se registran usuarios y se provisionan tipos, links y campos; luego, se disparan triggers durante el alta, baja y edición de issues e issue links para reflejar esas mismas operaciones en la API REST.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para la seguridad, se implementa una estrategia que combina la emisión de un FIT (Forge Invocation Token) por parte de la aplicación, el cual debe ser validado por la API REST contra los JWKS (JSON Web Key Set) oficiales de Atlassian. Este mecanismo permite garantizar que las solicitudes provienen efectivamente de Forge y que el usuario quede correctamente identificado. A continuación, la API REST emite un JWT propio firmado con RSA el cual es almacenado por el almacenamiento seguro de Forge. Ese JWT es adjuntado en las próximas solicitudes https subsiguientes. Cuando este vence, el resolver lo renueva repitiendo el intercambio FIT → JWT sin intervención del usuario.

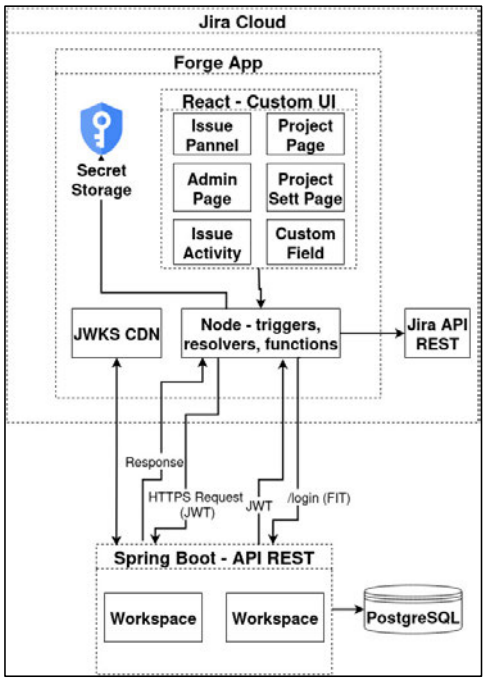



**Figura 1. Arquitectura de la App**

## 3- Funcionalidades y aplicación de SQrum

En este apartado se detallan las dos principales funcionalidades de la App (3.1 y 3.2) y luego las demás funcionalidades (3.3, 3.4 y 3.5) se explican y desarrollan a través de un ejemplo.

### 3.1 Gestión de Modelos de Calidad

El módulo de página global es el núcleo donde se definen, gestionan y mantienen **modelos de calidad** jerárquicos reutilizables en múltiples proyectos de Jira. Su propósito es ofrecer un vocabulario común y mensurable que, luego, se vincula con requisitos y mediciones a nivel de proyecto (Ver Figura 2).

La calidad se representa mediante una jerarquía de cuatro niveles: en el nivel superior, el **Modelo de Calidad** agrupa un conjunto de **Características** que describen dimensiones amplias del modelo (por ejemplo, Funcionalidad o Confiabilidad); por debajo, las **Subcaracterísticas** precisan aspectos específicos y medibles y funcionan como anclaje directo de los requisitos de calidad del proyecto (por ejemplo, Precisión o Madurez); finalmente, los **Atributos** constituyen la unidad medible, cada uno con su función de medición y sus elementos asociados (unidad de medida, escala, entidad objetivo, método de medición, entre otros). Esta estructura permite alinear las métricas de los proyectos con estándares como ISO/IEC 25010 y 25023, y le brinda a la organización un catálogo consistente, verificable y trazable.



**Figura 2. Gestión de Modelos de Calidad**

### 3.2 Especificación de Necesidades y Requisitos de calidad

Otra funcionalidad central es la especificación de **Necesidades** y **Requisitos** de calidad. En la app, las Necesidades de Calidad se modelan como un *issue type* personalizado de Jira que captura, en lenguaje natural, las expectativas del negocio o del dominio incluso cuando los interesados no puedan expresarlas técnicamente; a partir de ellas se derivan requisitos formales, verificables y alineados modelos de calidad. Estas issues heredan los campos estándar de Jira (clave, resumen, descripción, estado, etc.) y agregan la posibilidad de asociar interesados, ya que la aplicación permite mantener un listado de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



interesados por proyecto, clasificarlos y vincularlos a cada necesidad (Ver Figura 3).




**Figura 3. Especificación de Necesidades y Requisitos de calidad**

Para ilustrar estos conceptos, consideremos el siguiente caso:
Un municipio solicita desarrollar un sistema web para gestionar turnos del área de Registro Civil. Se identifican dos requisitos funcionales: **Registro de información personal (HU-1)** y **Registro del trámite a realizar (HU-2)**, que en Jira se modelan como Historias con sus criterios de aceptación y detalles correspondientes. El paso siguiente es registrar y clasificar a los interesados, por ejemplo: ciudadanos con distintos niveles de alfabetización digital, personal de IT municipal y autoridades municipales.

Cada grupo plantea necesidades de calidad que deben quedar asentadas en la aplicación. Por ejemplo, para los ciudadanos con diversa alfabetización digital se define **Experiencia simple, inclusiva y sin errores (NC-1)**, que promueve un uso accesible, guiado y libre de confusiones mediante un lenguaje claro y la prevención de errores a lo largo del flujo. Para el personal de IT municipal se establece **Observabilidad y trazabilidad operativa (NC-2)**, orientada a disponer de telemetría, registros y métricas correlacionables que faciliten el diagnóstico y la auditoría de incidentes. Finalmente, para las autoridades municipales se plantea **Métricas confiables para gestión y rendición de cuentas (NC-3)**, centrada en proveer indicadores consistentes y verificables, con fuentes y metodologías trazables que respalden los reportes oficiales. De este modo, las necesidades de calidad quedan vinculadas a las historias funcionales y orientan su verificación posterior mediante mediciones.

Una vez establecidas las Necesidades de Calidad, se deben especificar los **Requisitos de Calidad**. Estos son otro tipo de issue personalizada de Jira que permiten realizar especificaciones formales derivadas de las Necesidades de Calidad. A cada Requisito de calidad se le debe asociar una subcaracterística de un modelo de calidad y justificar porqué se eligió esa subcaracterística. El usuario puede asociar Necesidades y Requisitos de Calidad mediante un issue link personalizado de tipo “Cobertura de Calidad”.

Siguiendo con el ejemplo, a partir de las necesidades de calidad descritas anteriormente, se podrían establecer los siguientes requisitos de calidad: **Acceso inclusivo (RC-1)** en base a la subcaracterística *Accesibilidad (Usabilidad, ISO 25010)* y enlazada con NC-1; **Registro de auditorías de acciones (RC-2)** en base a la subcaracterística *Responsabilidad (Seguridad, ISO 25010)* y enlazada con NC-2; y **Conformidad de datos con normativa (RC-3)** en base a la subcaracterística *Conformidad (calidad de datos, ISO/IEC 25012)* y enlazada con la NC-3.

Los links de “Cobertura de Calidad” también pueden ser utilizados para cubrir la calidad de un conjunto de requisitos funcionales, por lo que podríamos representar la trazabilidad completa entre las diferentes issues de la siguiente manera:

- (HU-1 & HU-2) → NC-1 → RC-1
- (HU-1 & HU-2) → NC-2 → RC-2
- (HU-1 & HU-2) → NC-3 → RC-3

### 3.3 Mediciones de Calidad

Para la evaluación de la calidad se utilizan **Mediciones de Calidad**, un *issue type* personalizado de Jira que especifica de manera concreta cómo debe medirse la calidad. Estas entidades se vinculan con los **Requisitos de Calidad** mediante el **Link de Medición de Calidad**. Cada Medición de Calidad debe asociarse a un **Atributo de Calidad** y justificar por qué medir ese atributo contribuye a satisfacer el requisito correspondiente; además, es necesario validar que dicho atributo pertenezca a la **subcaracterística** asociada al requisito enlazado (Ver Figura 4).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



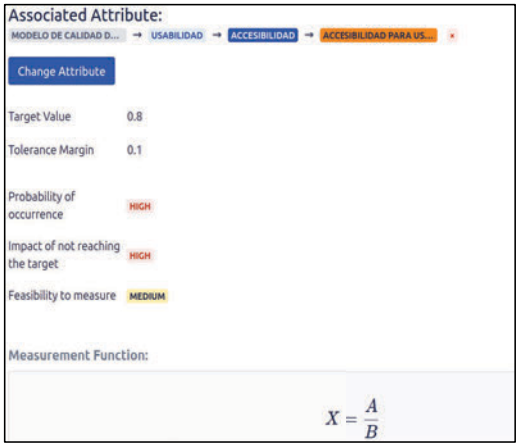



**Figura 4. Medición de la Calidad**

Para completar correctamente una Medición de Calidad se consignan, como mínimo, los siguientes datos: **valor objetivo**, es decir, el umbral de la métrica del atributo a partir del cual el resultado se considera aprobado (por debajo, se considera desaprobado); y **margen de tolerancia**, que define la desviación permitida respecto del valor objetivo. Asimismo, para cada **elemento de medición** que integre la métrica del atributo, pueden precisarse el **método de medición** (procedimientos y/o herramientas a emplear) y la **fuente de datos** (origen desde el cual se obtendrán los datos).

Retomando el ejemplo, por cada Requisito de Calidad (RC) pueden definirse una o más Mediciones de Calidad. Así, el RC-1 podría vincularse con la **MC-1**, basada en el atributo *Accesibilidad para personas con discapacidad*, cuya definición es evaluar en qué medida usuarios con determinadas discapacidades pueden utilizar con éxito el sistema. La función de medición se establece como X = A / B, donde A es el número de funciones efectivamente utilizables por usuarios con una discapacidad específica y B es el número total de funciones implementadas. En este esquema, A y B constituyen los dos elementos de medición del atributo.

### 3.4 Ejecución de Mediciones

Con las mediciones definidas y seleccionadas, se debe planificar la ejecución de las mismas. Para ello se implementó una *issue type* personalizada llamada **Ciclo de Medición**, que permite elegir un conjunto de mediciones y generar **Instancias de Ejecución** para registrar resultados. Cada ciclo tiene una fecha estimada a partir de la cual se realizan las mediciones, y una misma Medición de Calidad puede tener múltiples instancias si participa en distintos ciclos. Una estrategia habitual es crear un ciclo por **sprint** con todas las mediciones de calidad que impactan a las nuevas funcionalidades.

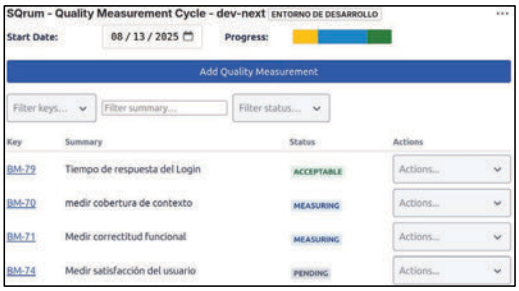



**Figura 5. Ciclo de Medición**

También se podría optar por abrir varios ciclos por sprint y asignarlos por especialidad (infraestructura, UX/UI, backend, seguridad, plataformas, calidad de datos, etc.). En cada Instancia de Ejecución se completan tres datos fundamentales: el **resultado** de la función de medición (según los valores obtenidos en cada elemento y su método/fuente), los **valores medidos por elemento** y el **estado** de la instancia (**pendiente, midiendo, aceptado, rechazado**). Una vez completadas todas las instancias, el ciclo pasa a **"hecho"**. Si es necesario corregir mediciones **rechazadas**, puede **duplicarse** el ciclo, conservar solo esas mediciones y re-ejecutarlas; del mismo modo, duplicar ciclos sirve para repetir las mismas mediciones en cada sprint y mantener estándares de calidad de manera consistente (Ver Figura 5).

### 3.5 Cálculo del Estado de Calidad

Al instalar la aplicación, se crea un campo personalizado nativo de Jira que calcula el estado de calidad de cada issue. Este campo brinda visibilidad inmediata tanto del cumplimiento (resultados de las mediciones) como de la cobertura (existencia y correcta vinculación de requisitos y mediciones) en todo momento.
Los estados posibles del campo son:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Aceptable (aplica a Mediciones, Requisitos, Necesidades y Requisitos Funcionales: Historias, Épicas, etc.): indica que la última instancia de ejecución de cada medición asociada a la issue está en estado Aceptado.
- Rechazado (aplica a Mediciones, Requisitos, Necesidades y Requisitos Funcionales): indica que al menos una de las últimas instancias de ejecución de las mediciones asociadas está en estado Rechazado.
- No medido (aplica a Mediciones, Requisitos, Necesidades y Requisitos Funcionales): indica que al menos una de las últimas instancias de ejecución está Pendiente o Cancelada; también puede significar que la issue no tiene aún ninguna Medición de Calidad asociada.
- No cubierto (aplica solo a Necesidades de Calidad y Requisitos Funcionales): indica que la issue no tiene ningún Requisito de Calidad asociado.

La aplicación considera que un Requisito de Calidad se vincula con una Medición mediante el issue link "Medición de Calidad". A su vez, las Necesidades de Calidad y los Requisitos Funcionales se relacionan indirectamente con las mediciones a través del issue link "Cobertura de Calidad". De este modo, el estado de calidad refleja de forma consistente la trazabilidad entre necesidades, requisitos y mediciones.

## 4- Conclusiones y Trabajos futuros

Este trabajo aborda una carencia persistente en proyectos ágiles: la gestión explícita y trazable de los requisitos de calidad desde el origen de la necesidad hasta la obtención de evidencia medible que respalde el cumplimiento de esas necesidades. El enfoque propuesto basado en SQuaRE mostró utilidad para alinear a perfiles diversos (UX/UI, seguridad, infraestructura, IA, producto, etc.) mediante un lenguaje común: necesidades de calidad, requisitos mapeados contra el modelo de calidad apropiado y atributos observables con métricas asociadas. Este encuadre favorece la transferencia de conocimiento entre especialidades y reduce ambigüedades, ya que transforma expectativas difusas de los interesados en especificaciones verificables y comprensibles para cualquier integrante del equipo involucrado en el desarrollo del software. Asimismo, partir de necesidades expresadas por distintos tipos de stakeholders amplía la perspectiva sobre "qué" debe lograr el software y "cómo" se evidenciará, habilitando mejores decisiones por cada iteración y menor retrabajo.

No obstante, existen limitaciones. La solución actual se focaliza en la especificación y en el registro de resultados como cierre documental del ciclo, pero aún no integra de forma nativa ecosistemas de evaluación automatizada (p. ej., pruebas funcionales y de regresión, performance y estrés, accesibilidad, análisis estático/dinámico de seguridad, observabilidad/APM). En términos de norma, todavía no implementa de punta a punta el proceso de evaluación de producto de ISO/IEC 25040 (desde la especificación y diseño de la evaluación hasta su ejecución sistemática y la interpretación de resultados). Además, la adopción en proyectos existentes de Jira puede resultar desafiante cuando hay grandes volúmenes de historias y épicas con etiquetado inconsistente; si bien la aplicación soporta filtros en JQL (Jira Query Language), la tarea de revisar y organizar las historias existentes, junto con su vinculación a nuevas 'Necesidades de Calidad' y 'Requisitos de Calidad', puede requerir un esfuerzo considerable.

Trabajos futuros en línea con superar las limitaciones identificadas:

1. Construir conectores para herramientas de evaluación automatizada (pruebas E2E y de carga, a11y, SAST/DAST/IAST, linters/coverage, APM/telemetría) y permitir ingesta continua de métricas desde CI/CD.
2. Implementar flujos completos según ISO/IEC 25040, incluyendo diseño de la evaluación, planes de muestreo, ejecución y análisis comparativo con umbrales/criterios de aceptación.
3. Incorporar LLMs (Large Language Models) como asistencia: sugerencia de mapeos entre historias/épicas y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



necesidades/requisitos de calidad, detección de duplicados y vacíos, generación de atributos candidatos y etiquetado inicial; aunque siempre con revisión humana para mitigar sesgos y alucinaciones.

En síntesis, el trabajo sienta bases sólidas para que la calidad deje de ser un anexo y pase a formar parte del flujo central de decisión y evidencia en los equipos, quedando claro el camino para su maduración técnica y organizacional.

## Referencias

[1] L. Ocaña, F. Naranjo y A. Fausto, «Estudio neutrosófico sobre la afectación de la,» *Neutrosophic Computing and Machine Learning,* pp. 296-304, 2023.

[2] I. Sommerville, Ingeniería de Software, 9° ed., México: PEARSON EDUCACIÓN, 2011.

[3] «Manifesto for Agile Software Development,» [En línea]. Available: http://agilemanifesto.org/.

[4] R. Pressman, Ingeniería de Software., 6 ed., Mcgraw-Hill, 2005.

[5] «Scrum Alliance,» [En línea]. Available: https://resources.scrumalliance.org/Article/quick-guide-things-scrum.

[6] «Extreme Programming,» [En línea]. Available: https://www.agilealliance.org/glossary/xp.

[7] B. Woubshet, R. Pilar, O. Markku, A. Sanja, P. Jari y A. Antonin, «Towards optimal quality requirement documentation in agile software development: A multiple case study,» *The Journal of Systems & Software,* vol. 183, 2022.

[8] B. Woubshet, K. Pertti, L. Lidia, B. Xavier, M.-F. Silverio, A. M. Vollmer, R. a. Pilar, X. Franch y M. Oivo, «Management of quality requirements in agile and rapid software develop,ment: A systematic mapping study,» *Information and Software Technology,* vol. 123, pp. 106-225, 2020.

[9] IEEE .Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer dictionary, *Standard 610,* Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries, 1990.

[10] ISO/IEC 25010:2011, *Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)-System and software quality models.,* ISO, 2011.

[11] ISO/IEC 25000:2014, *Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE),* 2014.

[12] IONOS Cloud S.L.U., «IONOS Cloud,» [En línea]. Available: https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/alternativas-a-jira/.

[13] Atlassian, «Atlassian,» [En línea]. Available: https://bit.ly/3SwMmDd.

[14] ISO/IEC 25000:2014, *Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE),* ISO-Guide to SQuaRE, 2014.

[15] ISO/IEC 25030:2007, *Software engineering — Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Quality requirements.,* ISO, 2007.

[16] ISO/IEC 25010:2011, *Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)-System and software quality models.,* 2011.

[17] ISO/IEC 25023:2016, *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Measurement of system and software product quality.,* 2016 (E).

[18] Finding, «Finding - Performance testing,» [En línea]. Available: https://findingtc.com/performance-testing/.

[19] Verity , «Verity - Servicios de SQA,» [En línea]. Available: https://www.verity.cl/pruebas-rendimiento.

[20] Panel, «Panel - Servicios de SQA,» [En línea]. Available: https://www.panel.es/aseguramiento-calidad-software/.

[21] IRAM ISO/IEC 25030:2019, *Ingeniería de Software – Requisitos de la calidad del producto de software (SQuaRE) – Requisitos de Calidad.,* Buenos Aires: IRAM, 2019.

[22] Kawak, «Kawak - Software de gestión de calidad,» [En línea]. Available: https://www.kawak.net/software-de-gestion-de-calidad/.

[23] Durama, «Durama - Software de gestión de calidad,» [En línea]. Available: https://www.darumasoftware.com/.

[24] QMetry, «QMetry - Gestión de testing para Jira,» [En línea]. Available: https://marketplace.atlassian.com/apps/1215144/qmetry-test-management-for-jira-qtm4j?tab=overview&hosting=cloud.

[25] Xray, «Xray - Gestión de testing para Jira,» [En línea]. Available: https://marketplace.atlassian.com/apps/1211769/xray-test-management-for-jira?tab=overview&hosting=cloud.

[26] Zephyd Squad, «Zephyd Squad - Gestión de testing para Jira,» [En línea]. Available: https://marketplace.atlassian.com/apps/1014681/zephyr-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



squad-test-management-for-jira?tab=overview&hosting=cloud.

[27] V. Z. J. &. C. Y. Mercado-Ramos, «HERRAMIENTAS Y BUENAS PRÁCTICAS PARA EL ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE SOFTWARE CON METODOLOGÍAS ÁGILES,» vol. 6, nº 1, pp. 73-83, 2015.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Internet de las Cosas y Machine Learning en el ámbito de la salud: mapeo sistemático

**Villalba Buontempo, Tomás**
***Universidad de la Cuenca del Plata -Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura***

## Abstract

**Este trabajo presenta un mapeo sistemático de la literatura sobre la aplicación de Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos de *machine learning* en el ámbito de la salud,** con el propósito de conocer el estado actual del arte que combina tecnologías conectadas y analítica avanzada para mejorar el cuidado sanitario. La revisión busca responder a preguntas relacionadas con los dominios de aplicación, los sensores y algoritmos más utilizados, los beneficios reportados y los principales desafíos de implementación. Para ello, se realizó una búsqueda estructurada en bases de datos académicas de referencia, aplicando criterios de inclusión y exclusión definidos y eliminando duplicados. Los resultados muestran que las aplicaciones se concentran en el monitoreo remoto de pacientes, la gestión de enfermedades crónicas, el diagnóstico asistido y la automatización hospitalaria, utilizando sensores como PPG (*Photoplethysmography / Fotopletismografía*), ECG (*Electrocardiogram / Electrocardiograma*), $SpO_2$ (*Peripheral Capillary Oxygen Saturation / Saturación periférica de oxígeno*), temperatura e IMU, en conjunto con algoritmos clásicos (SVM, Random Forest) y redes neuronales profundas (CNN *Convolutional Neural Network / Red Neuronal Convolucional*, LSTM *Long Short-Term Memory / Memoria a Corto y Largo Plazo*). Entre los beneficios destacan la detección temprana de eventos, la personalización de tratamientos, la continuidad del cuidado y la reducción de costos. Los principales desafíos, en cambio, se vinculan con la privacidad de datos, la interoperabilidad, la precisión de los sensores y las limitaciones regulatorias. Este estudio constituye un aporte para investigadores, desarrolladores y profesionales de la salud, al ofrecer un panorama actualizado que identifica tanto las oportunidades como las limitaciones de la convergencia entre IoT y *machine learning* en el sector sanitario.

## Palabras claves

IoT, Machine Learning, Salud, Monitoreo remoto, Wearables.

## Introducción

Este trabajo se desarrolla en el marco del Trabajo Final de Grado de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, orientado al diseño y validación de un dispositivo IoT para el monitoreo domiciliario de signos vitales en pacientes con enfermedades crónicas. La motivación principal es responder a la creciente necesidad de soluciones tecnológicas que permitan mejorar la continuidad del cuidado fuera del ámbito hospitalario, favoreciendo el seguimiento en el hogar y facilitando la detección temprana de posibles complicaciones.

El enfoque adoptado consiste en realizar un mapeo sistemático de la literatura científica vinculada a la aplicación de IoT y algoritmos de *machine learning* en el ámbito de la salud. Este mapeo tiene como propósito reunir y organizar la evidencia disponible, de manera de identificar dominios de aplicación, tecnologías más empleadas, beneficios reportados y desafíos pendientes. Con ello se busca generar un marco sólido que sirva como referencia tanto para la construcción del dispositivo planteado en este proyecto como para futuros desarrollos académicos y profesionales en el área.

El estudio tiene, por lo tanto, una doble utilidad: en el plano académico, aporta una síntesis estructurada sobre el estado de la investigación en un campo emergente y en rápida evolución; y en el plano práctico, ofrece criterios y orientaciones que pueden resultar de interés para profesionales sanitarios, ingenieros y desarrolladores

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tecnológicos vinculados a proyectos de salud digital.

El documento se organiza de la siguiente manera: en la sección de **Metodología** se detalla el proceso de búsqueda y los criterios de inclusión y exclusión aplicados; en la sección de **Resultados** se presentan los hallazgos, agrupados de acuerdo con las preguntas de investigación; la sección de **Discusión** aborda los aportes y limitaciones identificados en los estudios revisados; y finalmente, la sección de **Conclusión** sintetiza los principales resultados del mapeo y plantea posibles líneas futuras de investigación.

## Metodología

### Proceso de mapeo

Definición de preguntas → Estrategia de búsqueda → Criterios de inclusión/exclusión →
Selección de estudios → Extracción de datos → Análisis y síntesis de resultados

Con el fin de orientar el proceso de mapeo sistemático, se formularon un conjunto de preguntas de investigación que permiten estructurar la revisión y organizar los hallazgos en función de los objetivos del estudio. Estas preguntas buscan abarcar las principales dimensiones vinculadas a la aplicación de IoT y algoritmos de *machine learning* en el ámbito de la salud, desde los dominios de uso hasta los beneficios y desafíos identificados.

Preguntas:

Para explorar y realizar el mapeo se formularon las siguientes preguntas. Las preguntas de investigación y sus motivaciones se encuentran en la tabla 1
**PM1:** ¿Cuáles son los **dominios de aplicación específicos** dentro del sector salud (por ejemplo, monitoreo remoto de pacientes, detección temprana de enfermedades, diagnóstico asistido, gestión hospitalaria, rehabilitación)?
**PM2:** ¿Qué **tipos de sensores IoT y algoritmos de machine learning** se utilizan con mayor frecuencia en las soluciones de salud?
**PM3:** ¿Qué **beneficios** se han reportado al integrar IoT con machine learning en salud (ej., precisión diagnóstica, reducción de costos, alertas tempranas, personalización de tratamientos)?
**PM4:** ¿Cuáles son los **desafíos, limitaciones o riesgos** (tecnológicos, éticos, de privacidad, regulatorios) identificados en el uso de IoT con machine learning en salud?
**PM5:** ¿Qué se reporta sobre la precisión de los sensores IoT y cómo se mejora su validez clínica?"

**Tabla 1 - Preguntas de investigación y su motivación**

| Pregunta | Motivación |
|---|---|
| PM1: ¿Cuáles son los dominios de aplicación específicos dentro del sector salud? | Conocer y categorizar los dominios de aplicación en salud, de manera que se puedan identificar tendencias y patrones de uso de IoT con machine learning, y qué necesidades médicas o asistenciales buscan resolver. |
| PM2: ¿Qué tipos de sensores IoT y algoritmos de machine learning se utilizan con mayor frecuencia en las soluciones de salud? | Identificar las tecnologías concretas aplicadas en el ámbito sanitario, para reconocer qué sensores y algoritmos son más adoptados y cómo se integran en soluciones de monitoreo y diagnóstico. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | |
|---|---|
| PM3: ¿Qué beneficios se han reportado al integrar IoT con machine learning en salud (por ejemplo: precisión diagnóstica, reducción de costos, alertas tempranas, personalización de tratamientos)? | Determinar las ventajas percibidas o demostradas de la integración de IoT y machine learning en el sector salud, en términos de eficiencia clínica, calidad del diagnóstico, reducción de costos y mejoras en la atención al paciente. |
| PM4: ¿Cuáles son los desafíos, limitaciones o riesgos (tecnológicos, éticos, de privacidad, regulatorios) identificados en el uso de IoT con machine learning en salud? | Identificar los aspectos técnicos, éticos, de seguridad y regulatorios que pueden limitar o condicionar la adopción de estas tecnologías en contextos médicos y hospitalarios. |

## Fuentes y estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en bases de datos y repositorios académicos de referencia que concentran publicaciones relevantes en inteligencia artificial, ingeniería biomédica y tecnologías emergentes aplicadas al ámbito sanitario. Se consultaron principalmente:

- Wiley Online Library, donde se localizaron revisiones sistemáticas y artículos de aplicación sobre IoT y machine learning en salud [1], [4], [7].
- Frontiers in Public Health, priorizada por su enfoque en aplicaciones clínicas y en el monitoreo de enfermedades crónicas [3].
- ResearchGate, utilizada para acceder a versiones completas de artículos de conferencias y desarrollos prototípicos en sistemas de monitoreo en tiempo real [2], [5], [6], [8].
- PubMed/PMC (Healthcare, Basel), seleccionada por su cobertura en biomedicina y por incluir revisiones abiertas de gran impacto en la temática [2], [8].
- MDPI Electronics, que aportó una visión transversal sobre beneficios, desafíos y futuras direcciones del IoT en salud [10].

Además, se incorporó un antecedente ilustrativo de la Sociedad Española de Cardiología, que documenta la implementación temprana de dispositivos vestibles para telemonitorización en insuficiencia cardíaca [10].

Estas fuentes fueron elegidas por su relevancia temática y su aporte complementario.

La selección de términos se organizó en tres ejes complementarios:

- **Tecnología IoT:** “Internet of Things”, “IoT”, “wearables”, “wireless sensors”, “smart devices”.
- **Inteligencia artificial / aprendizaje automático:** “machine learning”, “deep learning”, “predictive models”, “AI algorithms”.
- **Contexto sanitario:** “healthcare”, “patient monitoring”, “remote monitoring”, “chronic disease”, “diagnosis”, “rehabilitation”.

Con base en estos ejes, se diseñaron cadenas de búsqueda utilizando operadores booleanos:

("Internet of Things" OR IoT OR wearable)
AND ("machine learning" OR "deep learning")
AND ("healthcare" OR "patient monitoring" OR diagnosis)

### Criterios de inclusión (CI)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se incluyeron en este mapeo sistemático aquellos estudios que abordan de manera explícita la aplicación de IoT y algoritmos de machine learning en contextos de salud, publicados y difundidos en fuentes académicas reconocidas como journals revisados por pares, conferencias, capítulos de libros, tesis y preprints disponibles en repositorios especializados.

Los CI son:

**CI1.** Estudios que discutan la aplicación de **IoT en el ámbito de la salud** (monitoreo remoto, diagnóstico, rehabilitación, gestión hospitalaria, etc.).

**CI2.** Estudios que analicen o implementen **algoritmos de machine learning en contextos sanitarios** (predicción, clasificación, apoyo al diagnóstico, personalización de tratamientos).

**CI3.** Publicaciones en **inglés o español**, por ser los idiomas predominantes en la investigación.

**CI4.** Artículos publicados en **revistas revisadas por pares, conferencias, capítulos de libros, tesis/disertaciones y preprints** en repositorios académicos reconocidos.

**Criterios de exclusión (CE)**

Se excluyeron los trabajos que no guardaban relación directa con el ámbito sanitario, así como las publicaciones sin revisión por pares ni respaldo académico (blogs, notas periodísticas o informes comerciales). También se descartaron documentos duplicados, priorizando siempre la versión más completa y actualizada de cada investigación.

**CE1.** Trabajos que aborden IoT en dominios no relacionados con la salud (ej. agricultura, industria, transporte) sin conexión al área sanitaria.

**CE2.** Publicaciones sin revisión por pares ni respaldo académico (blogs, notas periodísticas, informes comerciales).

**CE3.** Documentos duplicados; en caso de múltiples versiones de un mismo estudio, se selecciona la más completa.

## Proceso de búsqueda y síntesis de resultados

El proceso de selección se centró en una búsqueda inicial y consolidación: se ejecutaron las cadenas de búsqueda en las principales bases de datos y repositorios académicos seleccionados, consolidando los resultados obtenidos en un gestor de referencias.

| Buscador | Resultados | Cadena de búsqueda utilizada |
|---|---|---|
| **Wiley Online Library** link | 92 | `("machine learning" AND "IoT") AND ("health" OR "healthcare")` |
| **National Library of Medicine (PubMed/NCBI Bookshelf)** link | 14 Books | `("machine learning" AND "IoT") AND ("health" OR "healthcare")` |
| **ResearchGate** link | 45 | `("machine learning" AND "IoT") AND ("health" OR "healthcare")` |
| **Frontiers in Public Health** link | 302 | `("machine learning" AND "IoT") AND ("health" OR "healthcare")` |

## Resultados

Del total de estudios analizados, se seleccionaron aquellos que cumplían con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



los criterios de inclusión y exclusión definidos en la metodología. A partir de ellos se identificaron hallazgos relevantes que permiten responder a las preguntas de mapeo planteadas (PM1–PM5). Los resultados se presentan a continuación, organizados según cada pregunta de investigación y acompañados de ejemplos representativos y referencias clave de la literatura.

**PM1: Dominios de aplicación en salud (con referencias ajustadas)**

Los estudios revisados muestran que el uso de IoT combinado con machine learning en el ámbito sanitario se ha diversificado en al menos cinco dominios principales. El más frecuente es el monitoreo remoto de pacientes, orientado al seguimiento de signos vitales como frecuencia cardíaca, $SpO_2$, presión arterial y temperatura corporal mediante dispositivos *wearables*. Estos sistemas permiten emitir alertas tempranas frente a anomalías y garantizar continuidad en la atención, incluso en el hogar [2]. Un ejemplo es el prototipo de sistema IoT para el monitoreo en tiempo real de frecuencia cardíaca mediante PPG y conectividad BLE, que demostró factibilidad en escenarios clínicos controlados [5].

Otro dominio recurrente es la gestión de enfermedades crónicas, especialmente en pacientes con cardiopatías, diabetes y enfermedades respiratorias. En estos casos, los sensores capturan información de manera continua y los modelos predictivos permiten identificar patrones de descompensación, lo que favorece la adherencia terapéutica y reduce hospitalizaciones [3], [2].

Asimismo, varios trabajos exploran el diagnóstico asistido y el soporte a la decisión clínica, donde los algoritmos de ML, en particular redes neuronales profundas como CNN y LSTM, se aplican al procesamiento de señales biomédicas complejas (ECG, PPG, actividad física), aportando apoyo en la clasificación de eventos como arritmias, caídas o episodios de hipoxemia [4], [6].

La literatura también recoge experiencias de **entornos hospitalarios inteligentes**, en los que IoT se utiliza para mejorar la gestión de procesos clínicos y logísticos, tales como trazabilidad de insumos, gestión de camas o monitoreo de equipamiento médico. Aunque menos frecuentes que los RPM, estas iniciativas destacan por su potencial de optimizar recursos y reducir tiempos de respuesta [1], [2].

Finalmente, se identifican aplicaciones emergentes en salud pública y cuidados comunitarios, donde IoT y ML permiten vigilar indicadores poblacionales, anticipar brotes epidemiológicos y mejorar la distribución de servicios sanitarios [2], [2].

Como antecedente ilustrativo, la Sociedad Española de Cardiología reportó en 2014 el desarrollo de un chaleco inteligente para pacientes con insuficiencia cardíaca, que permitía la telemonitorización continua de parámetros cardíacos y demostraba la viabilidad de extender la vigilancia más allá del hospital [10]. Este ejemplo evidencia que las prendas inteligentes son una línea de aplicación que sigue evolucionando en paralelo a los dispositivos *wearables* más tradicionales.

**PM2: Sensores IoT y algoritmos de machine learning más frecuentes**

*"¿Qué tipos de sensores IoT y algoritmos de ML se utilizan con mayor frecuencia en las soluciones de salud?***"**

Los estudios seleccionados confirman que los sistemas de salud basados en IoT se apoyan en una amplia gama de **sensores biomédicos y ambientales**. Los más habituales son:

- **Sensores fisiológicos:** PPG (para frecuencia cardíaca), ECG (actividad

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



eléctrica del corazón), $SpO_2$ (oxigenación) y termistores (temperatura corporal). Estos dispositivos, integrados en *wearables*, son ampliamente revisados en la literatura, donde se destacan por su facilidad de uso y capacidad de monitoreo en tiempo real [1], [7].

- **Sensores de movimiento:** acelerómetros y giroscopios (IMU), utilizados para seguimiento de actividad física, caídas y procesos de rehabilitación [5], [8].

- **Sensores electromiográficos (sEMG):** empleados en escenarios más específicos, como la detección de fatiga muscular o el reconocimiento de actividades [6].

En cuanto a los algoritmos, se observa una combinación de técnicas de **machine learning clásico** y **deep learning**:

- **Algoritmos clásicos:** SVM, Random Forest y k-NN, aplicados principalmente en clasificación binaria (evento/no evento) y predicción de estados clínicos [1], [4].

- **Redes neuronales profundas:** CNNs para procesar señales biomédicas como ECG y PPG, y RNNs/LSTM para series temporales, especialmente útiles en la detección de anomalías y predicción de crisis clínicas [4], [6].

Ejemplos prácticos incluyen un modelo LSTM aplicado a *life-logs* para detectar anomalías fisiológicas [7] y la fusión multimodal de sensores (sEMG + IMU) para mejorar la precisión diagnóstica en el reconocimiento de actividades diarias [8].

**PM3: Beneficios de integrar IoT y ML en salud**

*"¿Qué beneficios se han reportado al integrar IoT con machine learning en salud?"*

La literatura revisada muestra que la integración de IoT y ML aporta beneficios tanto en el plano clínico como en la gestión sanitaria.

Algunos de estos beneficios son:

**Detección temprana y alertas preventivas.**
La monitorización continua mediante sensores IoT, sumada a la analítica de ML, permite identificar cambios sutiles en los parámetros vitales y generar alarmas antes de que se produzca una emergencia, aumentando la seguridad en pacientes de alto riesgo [5], [2].

**Mejora de la calidad de la atención.**
Los sistemas IoT potencian la personalización del seguimiento clínico al adaptar umbrales y alarmas a las características de cada paciente, lo que favorece la continuidad del cuidado, especialmente en la transición entre hospital y domicilio [3], [2].

**Eficiencia y reducción de costos.**
La automatización de la captura y el análisis de datos reduce la necesidad de controles presenciales frecuentes y optimiza la gestión de recursos hospitalarios, traduciéndose en ahorros significativos para el sistema de salud [1], [2].

**Empoderamiento del paciente.**
El acceso a información en tiempo real mediante aplicaciones vinculadas a dispositivos *wearables* fomenta la adherencia al tratamiento y promueve la autonomía en la autogestión de la salud [7], [2].

**PM4: Desafíos, limitaciones y riesgos**

*"¿Cuáles son los desafíos, limitaciones o riesgos identificados en el uso de IoT con ML en salud?"*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Privacidad y seguridad de los datos.**
La transmisión de grandes volúmenes de información biométrica mediante dispositivos IoT convierte a estos sistemas en un objetivo atractivo para ciberataques. Se han identificado riesgos relacionados con malware, accesos no autorizados y pérdidas de datos, lo que subraya la necesidad de aplicar protocolos de encriptación robusta y mecanismos de preservación de la privacidad [6], [2].

**Interoperabilidad y escalabilidad.**
La diversidad de dispositivos y plataformas dificulta la integración en sistemas hospitalarios, generando problemas de compatibilidad. Además, la transmisión y almacenamiento masivo de datos implica desafíos de latencia, consumo energético y escalabilidad en infraestructuras de red [7], [2].

**Calidad y validez científica.**
Diversos artículos publicados en repositorios como Hindawi/Wiley han sido objeto de retractaciones recientes por fallas en el proceso editorial y revisión por pares. Esta situación evidencia la importancia de realizar una curaduría estricta de las fuentes utilizadas, priorizando revisiones de calidad y literatura en bases confiables [1], [4].

**Aspectos éticos y regulatorios.**
El uso a gran escala de datos biométricos requiere de marcos regulatorios claros sobre almacenamiento, procesamiento y acceso a la información. Asimismo, es necesario avanzar en protocolos éticos que aseguren la transparencia algorítmica y la mitigación de sesgos en los modelos de machine learning [2], [10].

**PM5: Precisión y calibración de sensores**

*"¿Qué se reporta sobre la precisión de los sensores IoT y cómo se mejora su validez clínica?"*

La precisión depende de factores como la colocación del sensor, las condiciones de uso (actividad física, sudor, movimiento) y la calibración con estándares clínicos [5], [8].

La revisión de Pandey et al. destaca que los wearables enfrentan variaciones en la precisión debido a la interferencia del movimiento y artefactos de señal, recomendando estrategias de filtrado y validación antes de la interpretación clínica [7].

Se recomienda la fusión de sensores (p. ej., PPG combinado con IMU o ECG) para reducir artefactos y aumentar la exactitud de las mediciones.

Los prototipos de monitoreo en tiempo real muestran viabilidad técnica, pero resaltan la necesidad de estudios clínicos comparativos con dispositivos "gold standard" para validar la precisión antes de una adopción masiva [7], [2].

## Conclusión

El propósito de este mapeo sistemático fue ofrecer una visión integral del campo emergente que combina Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos de machine learning en el ámbito de la salud.

Los resultados obtenidos permiten reconocer que se trata de un área en rápida expansión, con aplicaciones diversas que abarcan desde el monitoreo remoto de pacientes y la gestión de enfermedades crónicas, hasta el diagnóstico asistido, la automatización hospitalaria y los cuidados comunitarios conectados. En todos estos dominios, la integración de IoT y ML se ha mostrado capaz de mejorar la precisión diagnóstica, facilitar la detección temprana de eventos adversos, personalizar tratamientos y optimizar la eficiencia de los sistemas sanitarios.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Asimismo, el análisis permitió identificar los sensores más utilizados (PPG, ECG, $SpO_2$, temperatura, IMU) y los algoritmos más frecuentes (SVM, Random Forest, CNN, LSTM), que en conjunto conforman el núcleo tecnológico de las soluciones actuales, tal como lo sintetizan las revisiones de Islam et al. [1] y Pandey et al. [7]. Los beneficios más destacados —la continuidad del cuidado entre hospital y hogar, la reducción de costos y el empoderamiento del paciente a través del acceso en tiempo real a sus propios datos— se documentan ampliamente en Khan et al. [2].

**Tabla 2 - Relación entre sensores, algoritmos, dominios, beneficios y desafíos**

| Sensor IoT | Algoritmo ML | Dominio de Aplicación | Beneficio Principal | Desafío Asociado |
|---|---|---|---|---|
| PPG + ECG | CNN, LSTM | Monitoreo remoto de pacientes | Detección temprana de anomalías cardíacas | Ruido de señal y calibración clínica |
| IMU (Acelerómetro + Giroscopio) | Random Forest | Rehabilitación y detección de caídas | Seguimiento preciso del movimiento | Interferencia por movimiento y consumo energético |
| $SpO_2$ + Temperatura | SVM | Gestión de enfermedades crónicas | Predicción de descompensaciones | Privacidad y seguridad de datos |
| ECG | CNN | Diagnóstico asistido | Apoyo al diagnóstico automatizado | Validación frente a equipos “gold standard” |
| PPG + IMU | LSTM | Monitoreo continuo y análisis de patrones vitales | Integración multimodal de señales | Escalabilidad e interoperabilidad del sistema |

Sin embargo, el mapeo también evidenció limitaciones significativas: riesgos de privacidad y seguridad, falta de interoperabilidad entre dispositivos, retos de precisión y validación clínica de los sensores, así como vacíos normativos y éticos respecto al uso de datos biomédicos. Además, se observó la necesidad de fortalecer la calidad editorial y la curaduría de fuentes, ante la existencia de publicaciones retractadas que afectan la confiabilidad del cuerpo de evidencia.

En síntesis, este estudio contribuye a delinear un panorama claro de las oportunidades y desafíos del IoT potenciado con machine learning en salud. Para los profesionales sanitarios y desarrolladores tecnológicos, ofrece un mapa útil para identificar tendencias y soluciones aplicables. Para la comunidad académica, señala áreas de investigación aún abiertas, como la evaluación a largo plazo del impacto clínico, el desarrollo de marcos regulatorios robustos y la consolidación de buenas prácticas de interoperabilidad y seguridad.

Este mapeo constituye así un recurso inicial para orientar tanto la implementación responsable en la práctica clínica como el diseño de futuras investigaciones, asegurando que la convergencia de IoT y ML contribuya efectivamente a un sistema de salud más eficiente, seguro y centrado en el paciente.

**Avances en la investigación para el proyecto IoT-Salud**

A partir del análisis realizado en el mapeo sistemático, se identificaron modelos de aprendizaje profundo particularmente adecuados para la detección automática de anomalías en señales fisiológicas, en especial electrocardiogramas (ECG). Entre ellos, las arquitecturas 1D-CNN, LSTM y 1D-LSTM demostraron ser las más eficientes en la literatura reciente para procesar series temporales biomédicas y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



capturar patrones sutiles asociados con eventos cardíacos anómalos.

En el marco del proyecto IoT-Salud, actualmente se trabaja en el desarrollo y validación de un modelo híbrido basado en autoencoders, combinando capas convolucionales y recurrentes. Este enfoque permite reconstruir señales normales y detectar desviaciones en la reconstrucción como posibles anomalías.
El proceso de entrenamiento propuesto contempla dos etapas:

1. **Entrenamiento base:** con registros de ECG normales provenientes de bases de datos públicas estandarizadas (por ejemplo, *PTB-XL* o *PhysioNet*), con el objetivo de que el autoencoder aprenda la estructura fisiológica de un trazado cardíaco saludable.

2. **Reentrenamiento adaptativo:** con ECG normales capturados desde el prototipo IoT desarrollado en el proyecto, para ajustar el modelo a las características específicas del sensor y de la población de pacientes local.

Durante la fase de validación, el sistema comparará en tiempo real los nuevos registros con las reconstrucciones del modelo. Las discrepancias significativas (errores de reconstrucción elevados) serán interpretadas como alertas tempranas de posible anomalía cardíaca, que se notificarán a través de la plataforma de monitoreo remoto.

Este enfoque combina la capacidad de extracción de características de las CNN, la memoria temporal de las LSTM y la capacidad reconstructiva de los autoencoders, constituyendo una línea de avance alineada con los resultados del mapeo y con la tendencia global hacia la integración de IoT y aprendizaje profundo en salud inteligente (*smart healthcare*).

**Referencias**

[1] Islam, M., Kumar, R., & Goel, A. (2022). IoT and machine learning applications in healthcare monitoring: A systematic review. Journal of Healthcare Engineering, 2022, Article 5032435. https://doi.org/10.1155/2022/5032435

[2] M. Islam, M., Kumar, R., & Goel, A. (2022). IoT-based healthcare-monitoring system towards improving quality of life: A review. Journal of Healthcare Engineering, 2022, Article 364309611. https://doi.org/10.1155/2022/364309611

[3] Li, Z., Chen, W., & Liu, H. (2023). Advanced applications in chronic disease monitoring based on mobile IoT devices. Frontiers in Public Health, 11, 1188304.
https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1188304

[4] Al Ahdal, A., Rakhra, M., Rajendran, R. R., Arslan, F., Khder, M. A., Patel, B., Rajagopal, B. R., & Jain, R. (2023). Monitoring cardiovascular problems in heart patients using machine learning. Journal of Healthcare Engineering, 2023, 9738123. https://doi.org/10.1155/2023/9738123

[5] Sharma, S., & Singh, V. (2020). IoT-based system for heart rate monitoring. Proceedings of the International Conference on Advanced Computer Science and Applications. https://doi.org/10.1109/ICACSA50218.2020.00045

[6] Khan, A., Kumar, S., & Patel, R. (2024). Artificial intelligence of IoT in health care system. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 15, 1–12. https://doi.org/10.1007/s12652-024-05688-2

[7] Elbasani, E., & Kim, J.-D. (2021). LLAD: Life-log anomaly detection based on recurrent neural network LSTM. Journal of Healthcare Engineering, 2021, 8829403. https://doi.org/10.1155/2021/8829403

[8] M. Gupta, A. Roy, and R. Singh, "Wearable IoT-Enabled Real-Time Health Monitoring System," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 182, no. 46, pp. 23–29, 2018. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/329868510_Wearable_IoT_enabled_real-time_health_monitoring_system

[9] Sociedad Española de Cardiología. (2014). *Un nuevo chaleco inteligente permite la telemonitorización del paciente con insuficiencia cardíaca*. Notas de Prensa SEC. https://secardiologia.es/comunicacion/notas-de-prensa/notas-de-prensa-sec/5735-un-nuevo-chaleco-inteligente-permite-la-telemonitorizacion-del-paciente-con-insuficiencia-cardiaca

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[10] Sonavane, A., Khamparia, A., & Gupta, D. (2023). *A systematic review on the Internet of Medical Things: Techniques, open issues and future directions*. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 137(2), 1-26. https://doi.org/10.32604/cmes.2023.028203

**Datos de Contacto:**
*Tomas Villalba Buontempo*
*Universidad de la cuenca del plata*
*Lavalle 50 - corrientes - 3400*
*tomasv00805@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Mapeo Sistemático - Sistema de RAG para NextCloud

**Falkievich Thiago**
**Scali Gonzalo**
***Universidad de la Cuenca del Plata -Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura***

**Resumen**

*Este trabajo presenta un mapeo sistemático conceptual de la literatura sobre la integración de Retrieval-Augmented Generation (RAG) en sistemas de gestión documental, con énfasis en Nextcloud. La motivación radica en la ausencia de un módulo oficial que habilite búsquedas semánticas avanzadas y colecciones vectoriales administrables por el usuario. Se realizó una búsqueda en fuentes técnicas y comunitarias —foros oficiales de Nextcloud, repositorios GitHub, Reddit y Google Scholar— a partir de combinaciones de palabras clave relacionadas con RAG y bases vectoriales. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron seis documentos principales. Los resultados muestran que, aunque Nextcloud dispone de funcionalidades de IA como Context Chat, se restringen a una única base vectorial sin gestión por parte del usuario; En contraste, soluciones en la nube como ElasticSearch AI, Azure Cognitive Search o Confluence AI ofrecen capacidades de búsqueda semántica más avanzadas, pero con menor control de privacidad. El estudio* ***justifica la necesidad y pertinencia*** *de desarrollar un módulo nativo en Nextcloud y explora líneas para enfoques híbridos on-premise que combinen trazabilidad, soberanía de datos y colecciones vectoriales administrables. Como aporte, brinda un panorama claro del estado del arte y fundamenta futuras etapas de prototipado e implementación del módulo propuesto.*

**Palabras clave**

RAG, Nextcloud, Bases vectoriales, Embeddings, LLM

## Introducción

En el marco del Trabajo Final de Grado de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información en la Universidad de la Cuenca del Plata, se lleva adelante una propuesta orientada a extender las capacidades de inteligencia artificial en Nextcloud mediante el uso de técnicas de Retrieval-Augmented Generation (RAG). La iniciativa busca superar las limitaciones actuales de la plataforma, que si bien ya permite realizar consultas en lenguaje natural sobre documentos almacenados a través de módulos adicionales como Assistant y Context Chat, restringe el procesamiento a una única base vectorial global.

La motivación principal consiste en otorgar mayor flexibilidad a los usuarios de Nextcloud, permitiéndoles crear y gestionar múltiples bases de conocimiento de acuerdo con sus necesidades específicas. Esta capacidad no solo habilita consultas más precisas y contextualizadas, sino que también optimiza el rendimiento de la inteligencia artificial al reducir el volumen de información procesada en cada interacción. De esta forma, el sistema evita el uso innecesario de recursos computacionales y tokens, ya que el modelo recibe únicamente el contexto relevante, mejorando la calidad de las respuestas y la eficiencia en entornos on-premise.

Este trabajo plantea, entonces, una primera aproximación al diseño de un módulo de colecciones vectoriales administrables por el usuario, concebido como un aporte técnico y académico que permitirá avanzar hacia soluciones más inteligentes, personalizables y sostenibles dentro del ecosistema de Nextcloud.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Desarrollo

Este estudio se estructuró siguiendo las directrices metodológicas propuestas en revisiones sistemáticas adaptadas a informática [1].

### Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación son:

- P1. ¿Qué enfoques de RAG se han explorado para integrarse en gestores documentales on-premise como Nextcloud, en comparación con soluciones cloud, y cuáles son sus principales beneficios y limitaciones?
- P2. ¿Qué técnicas de generación de embeddings y bases vectoriales se han aplicado a sistemas de gestión documental, y cómo se comparan en términos de eficiencia y escalabilidad, tanto en contextos empresariales como académicos?
- P3. ¿Qué aplicaciones o plugins existentes en Nextcloud ofrecen funciones de búsqueda avanzada o integración con IA, y qué vacíos presentan frente a un pipeline completo de RAG?
- P4. ¿Qué tendencias se observan en la literatura y en el mercado en torno a la incorporación de RAG en plataformas colaborativas, considerando diferencias entre implementaciones cloud y on-premise?
- P5. ¿Qué criterios de privacidad y soberanía de datos están presentes en las soluciones existentes de RAG para gestores documentales, y cómo influyen en la adopción en organizaciones sensibles?

### Fuentes consultadas

Las fuentes consultadas fueron foros oficiales de Nextcloud, repositorios GitHub (context_chat), Reddit de Nextcloud y Google Scholar. Las fuentes [2]–[6] se listan en la sección de Referencias.

### Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda se basó en la combinación de palabras clave relacionadas con Nextcloud, Retrieval-Augmented Generation (RAG), bases vectoriales y modelos de IA. Para ello, se emplearon cadenas booleanas en Google Scholar y en buscadores de repositorio, siendo las cadenas de búsqueda como sigue:

- "Nextcloud" AND ("RAG" OR "retrieval augmented generation")
- "Nextcloud" AND ("vector database" OR embeddings)
- "Nextcloud" AND ("AI" OR "artificial intelligence")

**Período temporal:** 2020–2025.

**Criterios de inclusión:** soluciones aplicables a Nextcloud o gestores documentales con integración de RAG, documentación técnica verificable.

**Criterios de exclusión:** proyectos sin documentación, soluciones únicamente cloud sin opción on-premise, duplicados.

### Resultados

Para responder a las preguntas de investigación y obtener un panorama claro del estado actual, se realizó un proceso de búsqueda y selección de fuentes siguiendo los criterios definidos.

**Resultados finales:** tras aplicar criterios de inclusión/exclusión, se seleccionaron 6 documentos clave [2]–[6] y [17], que se listan en la sección de Referencias.

Los resultados de este proceso se sintetizan en la Tabla 1, donde se detallan las fuentes consultadas, la cantidad de documentos identificados inicialmente, los que fueron seleccionados finalmente y los motivos de exclusión.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Tabla 1. Resultados de búsqueda y selección*

| Fuentes consultadas | Resultados iniciales | Seleccionados | Motivo de exclusión |
|---|---|---|---|
| Foro Nextcloud | 4 | 2 | 2 descartados por falta de información técnica: mencionaban la existencia de RAG en Nextcloud, pero no describían el funcionamiento ni la implementación del sistema. |
| GitHub | 1 | 1 | - |
| Google Scholar | 5 | 2 | 3 no vinculados con Nextcloud |
| Reddit Nextcloud | 2 | 1 | 1 sin documentación verificable |
| Total | 11 | 5 | – |

**Resultados seleccionados**

De los resultados de búsqueda se consideraron finalmente seis documentos claves, correspondientes a:

- Un hilo en el foro oficial de Nextcloud que plantea la necesidad de un chatbot RAG [2].
- El repositorio oficial Context Chat en GitHub [3].
- un whitepaper técnico de Keen Computer sobre RAG en Nextcloud [4].
- La documentación oficial de Context Chat [5].
- El blog oficial de Nextcloud donde se presentó Assistant 2.0 [6].
- Un hilo en el foro oficial de Nextcloud donde se debate sobre un **chatbot RAG** integrado a Nextcloud; se menciona **Context Chat** como referencia y se discuten carencias/eficiencia [17].

Se seleccionaron estos seis documentos porque cumplían con los criterios de inclusión: estaban directamente relacionados con Nextcloud, describen la integración de RAG o funciones afines, y contaban con documentación técnica verificable. Los demás fueron descartados por falta de información técnica, por no estar vinculados con Nextcloud o por no ofrecer opciones on-premise.

**Resultados No Seleccionados**

Durante el proceso de búsqueda también se identificaron otros seis documentos que, si bien resultaron útiles para comprender conceptos relacionados con RAG, bases vectoriales y la comparación entre despliegues cloud y on-premise, no fueron incluidos dentro del conjunto final de documentos seleccionados. La razón principal es que, al aplicar los criterios de inclusión definidos, se verificó que no respondían de manera directa a las preguntas de investigación planteadas (P1–P5). En particular:

- El trabajo *AI in Nextcloud: what, why, and how* (Nextcloud GmbH) [11] aporta contexto general sobre la estrategia de IA de Nextcloud, pero no describe enfoques específicos de RAG ni su integración en gestores documentales, por lo que no responde a P1 ni P3.
- El trabajo [12] *App: Context Chat* (Nextcloud App Store), aunque describe la aplicación, la información presentada es de carácter introductorio y no incluye detalles técnicos sobre embeddings, bases vectoriales ni vacíos en el pipeline, quedando fuera de P2 y P3.
- *On-Premise vs Cloud* (SoftExpert), detallado en [13], fue de utilidad para clarificar diferencias entre ambos modelos de despliegue, pero al tratarse de un análisis general de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



infraestructura, no aborda técnicas RAG ni aplicaciones específicas en Nextcloud, quedando fuera de P1, P4 y P5.

- *Advanced Retrieval-Augmented Generation in Azure AI* (Microsoft) [14] explica el enfoque de RAG en la nube de Azure, pero no es aplicable a entornos on-premise ni a la integración con Nextcloud, por lo que no cumple con P1 ni P3.
- El trabajo *Vector databases in production: Multi-tenancy explained* (Pinecone) [15], resultó útil para comprender la gestión de colecciones y multi-tenancy en VDBs modernos, aunque no aborda casos en sistemas documentales como Nextcloud, por lo que no aporta directamente a P2 ni a la P3.
- El trabajo *How to integrate Nextcloud Notes with LLMs* (Reddit) [16] ilustra el interés de la comunidad, pero carece de documentación técnica verificable y no desarrolla técnicas concretas de RAG, motivo por el cual fue descartado de RQ2 y RQ3.

**Trabajos relacionados**

La revisión muestra que existen esfuerzos vinculados a la búsqueda semántica y la integración de IA en gestores documentales:

- En Nextcloud, Full Text Search y Context Chat permiten búsquedas léxicas o consultas básicas con embeddings, pero sin pipeline RAG completo ni gestión multicolección. [5]
- En el mercado, ElasticSearch, Coveo y Azure Cognitive Search ofrecen búsqueda semántica en modalidad cloud, priorizando escalabilidad sobre privacidad. [8]–[10]
- Como competidores indirectos, ChatGPT Enterprise, Notion AI y Confluence AI permiten consultas inteligentes sobre documentos, pero no en entornos on-premise ni con integración a Nextcloud.

La evidencia confirma que no hay soluciones que combinen RAG, privacidad on-premise y gestión de colecciones vectoriales administrables.

**Trabajos futuros y conclusión**

El mapeo confirma la pertinencia de investigar la integración de RAG en Nextcloud. Actualmente, no existe un módulo oficial que ofrezca un pipeline completo ni la gestión de colecciones vectoriales por parte del usuario.

**Limitaciones:** la búsqueda puede tener sesgo hacia Nextcloud.

A partir de los vacíos detectados en este mapeo y del diagnóstico realizado sobre el estado actual de Nextcloud, se proyectan diversas líneas de investigación y desarrollo que permitirán avanzar hacia una integración completa de RAG en esta plataforma. Estas propuestas no constituyen resultados obtenidos, sino futuras implementaciones previstas una vez que se avance en el desarrollo del módulo. En particular, se destacan:

- **Evaluación de prototipos con usuarios reales.** Es necesario validar la propuesta en escenarios prácticos, midiendo métricas como precisión, latencia y fiabilidad de las respuestas, a fin de comprobar su utilidad en entornos reales.
- **Desarrollo de interfaz para creación/gestión de colecciones vectoriales.** Una interfaz clara y accesible permitirá que los usuarios finales creen, combinen y gestionen colecciones de documentos sin

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



conocimientos técnicos avanzados, aumentando la usabilidad del sistema.

- **Medición de consumo de recursos en entornos on-premise.** Para garantizar la viabilidad de la solución, será fundamental analizar el impacto en CPU, RAM y almacenamiento durante los procesos de indexación y consulta, evaluando la eficiencia del sistema.
- **Especialización sectorial con embeddings adaptados.** El uso de embeddings entrenados para dominios específicos (finanzas, jurídico, académico, etc.) puede mejorar la precisión de las búsquedas y la pertinencia de las respuestas en contextos especializados. [8]–[10]
- **Evaluación de bases vectoriales alternativas (Milvus, Weaviate, FAISS).** Probar diferentes VDBs permitirá determinar cuál ofrece el mejor equilibrio entre rendimiento, escalabilidad y facilidad de integración con Nextcloud, optimizando el futuro desarrollo.

## Conclusión

El mapeo sistemático realizado permitió evidenciar que, si bien Nextcloud ha comenzado a incorporar funciones de inteligencia artificial a través de aplicaciones como Context Chat, estas se encuentran todavía en una etapa incipiente y limitadas a una única base vectorial. Este hallazgo resulta significativo porque contrasta con las soluciones cloud analizadas, que ofrecen mayor capacidad semántica pero sacrifican aspectos críticos como la privacidad y la soberanía de los datos.

Los resultados obtenidos justifican explorar la factibilidad y pertinencia de avanzar hacia la integración de un sistema de Retrieval-Augmented Generation en Nextcloud que contemple la gestión de múltiples bases de conocimiento. Este enfoque no solo ampliaría la flexibilidad de uso, permitiendo adaptar las consultas a contextos específicos, sino que también optimizaría el rendimiento del sistema al reducir la cantidad de información procesada y, en consecuencia, el consumo de recursos.

De este modo, la investigación no solo aporta una visión clara sobre las limitaciones actuales de Nextcloud y las tendencias en el mercado, sino que también ofrece una base sólida para justificar el desarrollo de un módulo orientado a colecciones vectoriales administrables por el usuario.

En conjunto, este estudio constituye un aporte académico y práctico que justifica la pertinencia de continuar esta línea y aporta indicios sólidos de viabilidad técnica para un módulo de múltiples bases de conocimiento administrables por el usuario en Nextcloud. Si bien el aporte es conceptual, los hallazgos fundamentan que dicha integración es plausible y necesaria para responder a demandas actuales de gestión documental inteligente on-premise, quedando su validación empírica como próxima etapa.

**Agradecimientos**

*Agradecemos a la comunidad de Nextcloud, cuyos foros y repositorios oficiales evidenciaron la necesidad de este tipo de solución, y al equipo docente que acompañó y orientó el desarrollo de este trabajo. Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento al profesor Sergio Lapertosa, a Zarrabeitia César Tomás y a la ingeniera Gilda Romero por su apoyo y orientación en este proceso académico.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias**

[1] Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering (Version 2.3, EBSE Technical Report EBSE-2007-01). Keele University & University of Durham. Disponible en: https://legacyfileshare.elsevier.com/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf

[2] medlibre. (13 de diciembre de 2023). Retrieval Augmented Generation (RAG) chatbot [Hilo en foro]. Nextcloud Community. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://help.nextcloud.com/t/retrieval-augmented-generation-rag-chatbot/176586

[3] Nextcloud. (2025, 31 de julio). context_chat (v4.4.1) [Repositorio de software]. **GitHub**. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://github.com/nextcloud/context_chat

[4] Keen Computer Solutions. (2025, 19 de agosto). Nextcloud and AI (RAG-LLM) for SMEs: Comprehensive White Paper [White paper]. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://www.keencomputer.com/solutions/digital-trafsformation/808-comprehensive-white-paper-nextcloud-rag-llm-for-smes

[5] Nextcloud GmbH. (2025). App: Context Chat (Manual de Administración de Nextcloud, sección "Artificial Intelligence") [Documentación]. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://docs.nextcloud.com/server/latest/admin_manual/ai/app_context_chat.html

[6] Poortvliet, J. (2024, 24 de abril). Nextcloud releases Assistant 2.0 and pushes AI-as-a-Service [Entrada de blog]. **Nextcloud Blog**. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://nextcloud.com/blog/nextcloud-releases-assistant-2-0-and-pushes-ai-as-a-service/

[7] Z. Author1, A. Author2, and B. Author3, "Título del artículo," arXiv preprint arXiv:2412.05091, Dec. 2024. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2412.05091

[8] Elastic, "¿Qué es la búsqueda semántica?," [En línea]. Disponible en: https://www.elastic.co/es/what-is/semantic-search

[9] Atlassian, "Notion AI security & privacy practices," [En línea]. Disponible en: https://www.notion.com/help/notion-ai-security-practices

[10] Microsoft Learn, "Clasificación semántica en Azure AI Search," [En línea]. Disponible en: https://learn.microsoft.com/es-es/azure/search/semantic-search-overview

[11] Nextcloud GmbH. (2023). *AI in Nextcloud: what, why and how* [Entrada de blog]. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://nextcloud.com/blog/ai-in-nextcloud-what-why-and-how/

[12] Nextcloud GmbH. (2025). *App: Context Chat* [Página de aplicación en Nextcloud App Store]. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://apps.nextcloud.com/apps/context_chat

[13] SoftExpert. (2023). *On-Premise vs Cloud: What's the best solution for your business?* [Entrada de blog]. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



https://blog.softexpert.com/en/on-premise-vs-cloud/

[14] Microsoft Corporation. (2024). *Advanced Retrieval-Augmented Generation in Azure AI* [Documentación]. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://learn.microsoft.com/en-us/azure/developer/ai/advanced-retrieval-augmented-generation

[15] Pinecone Systems Inc. (2024). *Vector databases in production: Multi-tenancy explained* [Artículo técnico]. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://www.pinecone.io/learn/series/vector-databases-in-production-for-busy-engineers/vector-database-multi-tenancy/

[16] Reddit. (2024). *How to integrate Nextcloud Notes with LLMs for semantic queries* [Discusión en foro]. Publicado en r/Nextcloud. Recuperado el 31 de agosto de 2025, de https://www.reddit.com/r/NextCloud/comments/1ijnql0/how_to_integrate_nextcloud_notes_with_llms_for/

[17] rallifs1. (n.d.). *Retrieval Augmented Generation (RAG) Chatbot* [Foro]. Nextcloud Help. Recuperado el 16 de octubre de 2025, de https://help.nextcloud.com/t/should-context-chat-and-perhaps-appapi-be-refactored/228587/3

**Datos de Contacto**

*Thiago Falkievich. Universidad de la Cuenca de la Plata - Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura. 3400. thiagofalkiev@hotmail.com.ar*
*Gonzalo Scali. Universidad de la Cuenca del Plata - Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura. 3400. gonzalojoses@hotmail.com*

*Capítulo*

# 7

# *Trabajo de Investigación de Estudiantes extra-cátedra*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# "Planificación eficiente de la gestión de residuos mediante ciencia de datos y análisis geoespacial: caso de estudio en Rivadavia"

**Gil Vargas, Franco Martín**
**Moreira Tejada, María Eugenia**
***Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales***

**Abstract**
*En el presente trabajo se aborda la problemática de la distribución eficiente de contenedores de residuos en la ciudad de Rivadavia, provincia de San Juan, Argentina, utilizando ciencia de datos aplicada a la información del censo 2022. El objetivo principal es mejorar la gestión de residuos domiciliarios considerando diferentes parámetros poblacionales como la densidad, nivel educativo de los habitantes, variables que inciden en la generación y la clasificación de residuos. Los datos se procesaron para generar nuevos indicadores, los cuales se mapearon y representaron geográficamente para visualizar los patrones resultantes. La propuesta busca una asignación óptima de contenedores que aproveche de modo eficiente recursos limitados y fomente la capacidad comunitaria de clasificación, contribuyendo así a estrategias de sostenibilidad urbana.*

**Palabras Clave**
Ciencia de datos, Gestión de residuos, Distribución óptima, QGIS, Censo 2022, Rivadavia, San Juan.

## Introducción

En el contexto del Proyecto de Investigación "Ciencia de datos como instrumento para la generación de políticas públicas en la planificación y desarrollo urbano de gobiernos municipales. Caso de estudio Municipalidad de Rivadavia", realizado por la Universidad Nacional de San Juan. Se analiza la gestión de residuos como un desafío creciente en las ciudades de hoy. Este análisis se realiza en un contexto donde se impulsa el desarrollo sostenible en la planificación ambiental. En particular, en Rivadavia se enfrenta al desafío de diseñar planes de sostenibilidad ambiental en donde se optimice la distribución de contenedores.
En el pasado se intentó implementar políticas ambientales, estas políticas incluyeron entre ellos el plan "Barrios Saludables" que consistían en:

1. Clasificación de residuos secos (plásticos, cartones, maderas) recolectados los días miércoles y los húmedos el resto de los días.
2. Existían 2 tipos de contenedores, azules para secos y verdes o negros para húmedos.

Este plan se llevó a cabo sin éxito debido a la falta de información y campañas de concientización desde el municipio, por lo que en la actualidad no se cuenta con ningún plan o estrategia para fomentar la clasificación de residuos.
El estudio se enfoca en cómo gestionar los recursos municipales teniendo en cuenta la diversidad sociodemográfica. Esto es importante porque las diferentes características de la población influyen en las políticas, los servicios y la distribución de recursos. Al analizar los datos del censo y crear nuevos indicadores, se pueden diseñar políticas públicas fundamentadas en evidencia, lo que fomenta un uso más eficiente de los recursos y mejora la calidad ambiental. A pesar de los avances en la infraestructura de recolección, todavía hay desigualdades en el acceso y uso efectivo de los contenedores, así como en la capacidad de la población para clasificar los residuos. Por eso, este estudio utiliza herramientas de ciencia de datos y sistemas de información geográfica para identificar áreas prioritarias, con el objetivo de maximizar el impacto de la planificación municipal y aumentar las posibilidades de éxito de la estrategia ambiental.

## Marco Teórico

**Ciencia de datos**: la ciencia de datos busca descubrir patrones, tendencias y respuestas a preguntas como qué pasó, por qué pasó, qué

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



puede pasar y qué acciones tomar, utilizando datos y tecnología para optimizar la toma de decisiones y la planificación estratégica [1]

**QGIS:** QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) gratuito y de código abierto que permite a los usuarios crear, editar, visualizar, analizar y publicar datos geoespaciales. Funciona en múltiples sistemas operativos como Windows, macOS, Linux y otros. QGIS ofrece una amplia gama de herramientas para trabajar con datos espaciales en formatos vectoriales y ráster, crear mapas personalizados, realizar análisis espaciales y compartir resultados en diferentes formatos, incluso en la web.

Su interfaz gráfica facilita el manejo y análisis de datos geográficos, y se puede ampliar mediante complementos para funciones específicas. Es muy usado en áreas como geografía, planificación urbana, ciencias ambientales y agricultura, y es una alternativa poderosa y libre frente a otros software SIG comerciales [2]

**Plataforma WEB Redatam:** Plataforma que permite difundir datos censales para consulta y análisis sin necesidad de instalar software local ni acceder a microdatos originales. Los usuarios pueden hacer consultas detalladas, cruces de variables y generar estadísticas o mapas temáticos directamente desde un navegador web. Este sistema es utilizado en varios países para permitir el procesamiento y análisis en línea de censos y encuestas, facilitando el acceso a datos desagregados en niveles geográficos pequeños y protegiendo la privacidad de los datos [3].

**Portal Geoestadístico:** Es una aplicación web que permite consultar, compartir y descargar las unidades que conforman el Marco Geoestadístico Nacional y visualizar indicadores estadísticos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022, según distintos niveles de desagregación geográfica.

La información geoestadística se encuentra disponible en formato vectorial y de tablas alfanuméricas.

Desde esta aplicación se pueden integrar visualmente los datos estadísticos disponibles con otras capas de información temática disponibles en la plataforma o cargadas por la persona usuaria y, de esta forma, obtener insumos relevantes para los ejercicios de análisis territorial que dan soporte a la toma de decisiones y las políticas públicas. [4]

**Radio Censal:** El radio censal es una unidad de área de carácter operativo que se emplea en la organización de los censos de población. Está definida por un espacio territorial cuyos límites coinciden con límites geográficos y tiene una determinada cantidad de viviendas a relevar. Forma parte de una estructura geoespacial anidada: cada fracción censal está compuesta por radios censales y cada radio censal está compuesto por segmentos censales. Los radios se clasifican en urbanos, rurales y rurales mixtos. Los radios urbanos tienen un promedio de 300 viviendas. Para bordes de localidades, el radio urbano puede contener 200 viviendas, aproximadamente, y en localidades aisladas, 100 viviendas. En zonas rurales, los radios se determinan por la conjunción de distintos factores, como características del terreno, accesibilidad y distancia entre las viviendas. [5]

**Desarrollo.**

Para abordar la problemática se trabajó con datos y mapas abiertos provenientes del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos en el año 2022 en Argentina. Se analiza la necesidad de explorar y analizar datos relacionados con parámetros claves, tales como, densidad poblacional, nivel educativo y nivel económico para discriminar o analizar la gestión de residuos en un contexto ambiental, pues estos influyen en la cantidad y tipo de residuos generados, así como en las prácticas y efectividad de dicha gestión.

Densidad poblacional: Es un aspecto clave que impacta en la generación y gestión de residuos. En áreas con alta densidad, es posible que se produzcan más residuos en términos de volumen, aunque esto no siempre se traduce en una proporción directa, ya que la efectividad de la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



recolección y separación puede variar. Investigaciones indican que en zonas densamente pobladas, la generación de residuos puede ser considerable, pero la gestión de estos puede depender de factores sociales y económicos [6][7].
Nivel educativo: Juega un papel importante en cómo la población maneja los residuos. Las personas con un nivel educativo más alto suelen tener una mayor conciencia ambiental, lo que se refleja en mejores prácticas de separación, reciclaje y disposición final. Algunos estudios han encontrado que el nivel educativo está relacionado con la generación y gestión de residuos en los hogares [7].
Nivel económico: Influye tanto en la cantidad de residuos generados como en su disposición. Generalmente, un mayor nivel económico se asocia con un mayor consumo y, por ende, con una mayor generación de residuos. Sin embargo, también implica una mejor capacidad para implementar sistemas de gestión más eficientes y ofrecer mejores servicios. Además, afecta la disponibilidad de recursos para los programas municipales de gestión ambiental [8][9].
En resumen, estos parámetros son clave para identificar y diferenciar áreas o grupos de población al estudiar la gestión de residuos, lo que nos ayuda a definir estrategias más efectivas para un manejo sostenible. Por ejemplo, las zonas con baja densidad y un nivel económico bajo podrían necesitar enfoques diferentes en comparación con áreas que tienen alta densidad y un mayor nivel educativo o económico.
Los datos obtenidos a través de la plataforma Redatam fueron procesados, analizados y enriquecidos en una hoja de cálculo por radios censales asociado al departamento de Rivadavia, para obtener nuevas variables considerando los aspectos anteriores, dichas variables no se encuentran como datos específicos del censo, por ejemplo
densidad poblacional, índice económico y porcentaje de personas con un máximo nivel de instrucción alcanzado alto (universitario completo, terciario completo, posgrado completo y postgrado incompleto).
Estas variables se analizaron y procesaron a través de feature engineering creando nuevas variables para la toma de decisiones.

**Metodología**

La metodología CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) es un modelo estándar abierto y probado para guiar proyectos de minería de datos y ciencia de datos. Fue concebida en 1996 y estandarizada en 1999 como una guía práctica para llevar a cabo proyectos que extraen valor de los datos. Su ciclo de vida consta de seis fases principales e interrelacionadas, que no necesariamente se siguen de forma estricta y pueden avanzar o retroceder según las necesidades del proyecto. [10][11][12]

En la Imagen 1 se puede observar las seis fases principales de CRISP-DM que a continuación se detallan:




**Imagen 1.** *Fases principales de metodología CRISP-DM. Fuente: Instituto de Ingeniería del Conocimiento (IIC), UAM – "Metodología CRISP-DM"*

Entendimiento del negocio: Entender los objetivos y requisitos del proyecto desde una perspectiva empresarial para definir técnicamente el problema a resolver. Esta fase involucra comunicación estrecha entre

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cliente y equipo técnico para alinear expectativas. [11][13][14]

Entendimiento de los datos: Recolección y análisis exploratorio inicial de los datos para determinar la viabilidad y el potencial de la solución, complementando el conocimiento del negocio adquirido. [11][13][14]

Preparación de los datos: Selección, limpieza y organización de los datos para construir conjuntos adecuados para el modelado. Es la fase que suele demandar mayor tiempo y esfuerzo, ya que influye directamente en la calidad de los modelos generados. [11][13][14]

Modelado: Aplicación de técnicas y algoritmos para construir modelos que respondan a los objetivos del proyecto. Puede requerir ajustes y selección de variables para optimizar el desempeño. [11][13]

Evaluación: Verificación de que los modelos cumplen con los objetivos del negocio y revisión integral antes del despliegue. [11][12]

Despliegue: Implementación de la solución para su uso real, que puede incluir la automatización, generación de reportes o integración con sistemas existentes. [11][12]

El modelo es flexible y puede adaptarse a distintos tipos de proyectos y sectores industriales. Por ejemplo, en algunos casos la fase de modelado puede ser menos relevante si el foco está en la exploración y visualización de datos, como en la detección de patrones sospechosos en datos financieros. [11]

**Implementación de metodología CRISP-DM**

● Entendimiento del negocio: Administrar un capital económico escaso, para la gestión de residuos que se adapte a una estrategia de sostenibilidad ambiental en el contexto de promoción de desarrollo sostenible que la ciudad de Rivadavia desea implementar maximizando la probabilidad de éxito, en base a factores territoriales y socioeconómicos, como densidad poblacional, nivel educativo y nivel económico.

● Entendimiento de los datos: En los datos censales, no se especifican este tipo de variables (densidad población por radio censal, porcentaje de personas alto nivel económico y porcentaje de personas con mayor nivel educativo), pero si se pueden obtener variables derivadas a partir de las variables originales del censo, por ejemplo, la distribución y características de los hogares tales como, cantidad de habitaciones y baños podrían determinar posibles datos de nivel de ingresos económicos, ya que no se realizan preguntas de este tipo en el Censo Poblacional. La densidad poblacional se encontraba solo discriminada por departamento, pero se podía obtener la superficie y cantidad de habitantes por cada radio censal. En el nivel máximo de instrucción alcanzado se obtenía por radio censal la frecuencia de ocurrencia según los distintos niveles educativos.

● Preparación de los datos: Se filtraron la totalidad de los datos por radio censal del departamento de Rivadavia mediante la consulta de la plataforma Redatam.

- ✓ Se descargo Mapa del portal geoestadístico del Censo, donde la información geoestadística se encuentra disponible en formato vectorial y de tablas alfanuméricas. [15] El mismo se usó como mapa de base en sistema de información geográfica QGIS obteniendo la superficie de cada radio censal
- ✓ Considerando la cantidad de habitantes por radio y la superficie del mismo se obtuvo la densidad poblacional por radio.
- ✓ En base a la infraestructura del hogar se obtuvieron la cantidad de hogares con 3 o más baños y más de 3 habitaciones considerando a los mismos como hogares de personas con altos ingresos económicos. Con esa

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



información se calculó el porcentaje de personas con alto ingresos con respecto al total de personas

- ✓ Se filtraron los datos de las personas con los niveles máximos de instrucción alcanzados, obteniendo el porcentaje de ellos respecto a la cantidad de personas.
- ✓ Se normalizaron las variables obtenidas, con el método de normalización Min–Max (escala 0–1) esta normalización Min-Max es una técnica de preprocesamiento de datos que transforma los valores de una variable para que queden reescalados en un rango específico, generalmente entre 0 y 1. Se hace restando a cada valor el mínimo de la variable y dividiendo el resultado por el rango, es decir, la diferencia entre el valor máximo y el mínimo. La fórmula matemática es:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde:
X: Valor original
$X_{min}$: Valor mínimo de la variable
$X_{max}$: Valor máximo de la variable
$X_{norm}$= Valor normalizado de 0 a 1

Esta normalización es útil para asegurar que los datos de distintas variables con diferentes escalas sean comparables y equitativos en análisis posteriores, también permite realizar ponderaciones de variables. Esto lo utilizamos para poder crear nuevas variables donde se combinen los datos de densidad poblacional, con datos económicos y densidad poblacional con nivel máximo de instrucción alcanzado (nivel educativo).

- Modelado: Con las variables ya normalizadas y aplicando feature engineering se obtuvieron 3 variables combinadas llamadas Densidad-Estudio; Densidad-Nivel Económico; y combinación de densidad-nivel económico con densidad y nivel educativo. Todas las variables se modelaron en QGIS con mapas interactivos posibilitando la selección de la variable a mostrar con diferentes tramas de colores, optando en este caso por escalas de grises. A continuación, se muestran los mapas obtenidos:

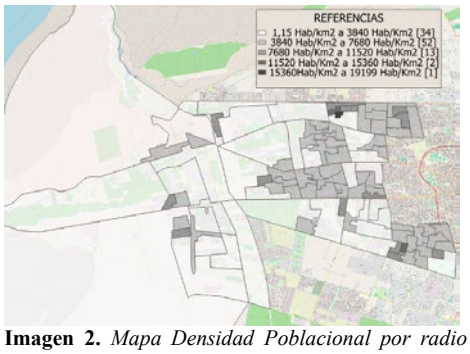



**Imagen 2.** *Mapa Densidad Poblacional por radio censal.*

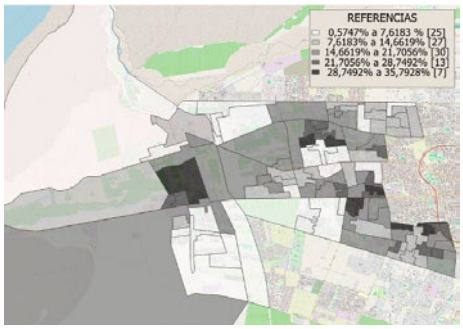



**Imagen 3.** *Mapa porcentaje de Personas con Alto nivel de Estudio por radio censal.*

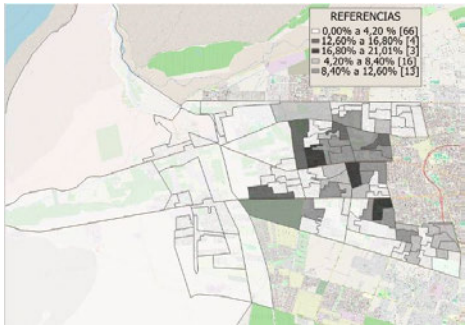



**Imagen 4.** *Mapa porcentaje de personas con altos ingresos por radio censal.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



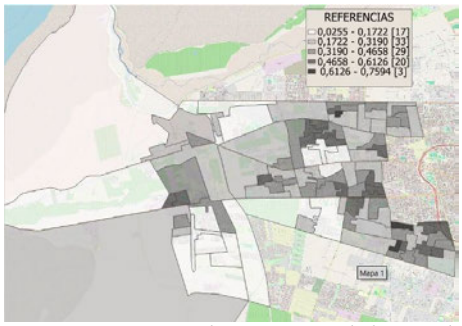



**Imagen 5.** *Mapa Combinación Densidad – Estudio por radio censal.*

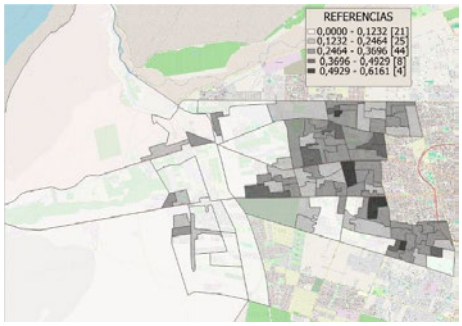



**Imagen 6.** *Mapa Combinación - Densidad y Nivel Económico por radio censal.*

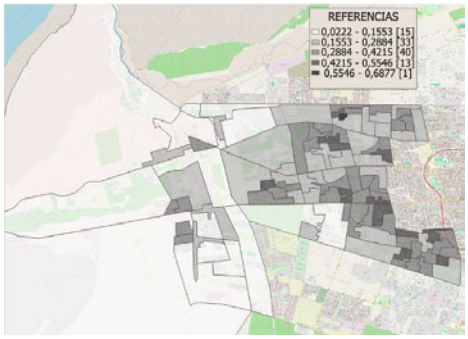



**Imagen 7.** *Combinación de Densidad-nivel económico con Densidad – Nivel Educativo.*

Evaluación: En las imágenes 2, 3 y 4 se pueden observar las variables obtenidas en por radio censal en primera instancia, las cuales son: densidad poblacional, porcentaje de personas con altos estudios y porcentaje de personas con nivel económico alto respectivamente.
En las imágenes 5 y 6 se puede observar cómo se relacionan la densidad poblacional como variable común combinado con los niveles de estudio (imagen 5) y nivel económico (imagen 6).
Con las variables obtenidas que dan origen a las imágenes 5 y 6 se combinaron ambas variables obteniendo el mapa definitivo que se visualiza en la imagen 7 donde se pueden observan las áreas nuevas áreas de estudio e interés para la solución al problema.

Despliegue: Con los mapas obtenidos, considerando un presupuesto limitado, obligación de clasificación de residuos, y con datos sociodemográficos disponibles, se aplicará una estrategia mixta, considerando impacto, eficiencia y sostenibilidad. De esta manera se obtiene un panorama más preciso para la ubicación de los contenedores, cantidad y tipo de los mismos. En este documento se propone la siguiente estrategia:
Establecer diferentes zonas según los datos obtenidos y luego determinar tipo de clasificación y acompañamiento educativo, se presenta dicha información en la siguiente tabla:

*Tabla 1. Modelo de clasificación y acompañamiento educativo según tipo de zona*

| Tipo de Zona | Tipo de clasificación | Acompañamiento educativo |
|---|---|---|
| Zona 1: Alta densidad, alta educación, media/alta economía | reciclables / orgánicos / resto | No obligatorio, puede haber información gráfica |
| Zona: 2: Alta densidad, baja educación, baja economía | reciclables / resto | Sí. Con promotor ambiental o cartelería intensiva |
| Zona 3: Baja densidad, media educación, media economía | reciclables / resto | Opcional, puede reforzarse con redes sociales o app |
| Zona 4: Zonas vulnerables o informales | Resto como inicio | Sí o sí: educación + recolección frecuente |
| Zona: 5: Comercios o zonas públicas (plazas, escuelas, lugares turísticos) | papel/plástico - orgánicos - resto | Síntesis visual clara, con pictogramas |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se propone un plan de implementación en diferentes etapas:
Etapa 1: Abordar las zonas 1 y 5, considerando estas zonas como los lugares en donde se estima una mayor probabilidad de éxito, promoviendo una buena visibilidad para la comunidad, debido a que estará implementada en zona de considerable concurrencia de personas.
Etapa 2: Considerando exitosa la etapa 1, se continua en zonas 2 y 3 de manera gradual priorizando las zonas donde los indicadores sean más elevados. Esto permitiría que la mayoría de la población, que en promedio presenta estos niveles y constituye el sector más representativo de la ciudad de Rivadavia, acceda a este tipo de política. Esta implementación es la que se considera llevará más tiempo, trabajo, inversión y esfuerzo combinado entre municipio y habitantes para obtener resultados positivos.
Etapa 3: Esta etapa se implementaría, luego de un determinado tiempo, en concurrencia con la etapa 2, abordando la zona 4 con trabajo social, acompañamiento y campañas de promoción para la implementación de la misma. Para ello, se propone implementar puntos de reciclaje que cubran amplias áreas inicialmente, para luego incrementar su cantidad de manera gradual, reduciendo la extensión de cobertura de cada uno y ampliando su presencia en las distintas zonas vulnerables.

## Conclusión y Trabajos Futuros.

Este trabajo muestra que combinar ciencia de datos con herramientas geoespaciales ayuda a planificar de forma más eficiente la gestión de residuos, especialmente en municipios con recursos limitados como Rivadavia. La propuesta de redistribución busca aprovechar mejor los contenedores y las capacidades de clasificación de la población, fomentando hábitos más sostenibles. Como principal limitación, se reconoce la falta de recursos para llevar a cabo prueba de terreno que permitan comprobar si las ideas planteadas funcionan y son aceptadas por la comunidad. A futuro, sería útil incorporar tecnologías como sensores IoT para medir en tiempo real la ocupación de los contenedores y optimizar las rutas de recolección.

**Agradecimientos.**
A la Universidad Nacional de San Juan, al director de proyecto Arq. Merlo, Manuel por el apoyo brindado, así como a nuestro director y codirector de tesis, Mg. Aranda, Juan y Lic. Quiroga Sergio respectivamente por sus valiosas contribuciones y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

**Referencias.**

[1] P Chapman, J Clinton, T Khabaza, T Reinartz, R Wirth - The CRIP–DM Consortium, 1999
[2]Articulo de Blog:Moya,Michael C.( December 26, 2022). Software Qgis. https://michaelmoyablog.webflow.io/blog/software-qgis
[3]Articulo de Sitio Web: Redatam (1985 - 2023). Procesar en línea. Recuperado el 21 de agosto de 2025, de https://redatam.org/es/procesar-en-linea
[4] Articulo de Sitio Web: Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC].(s.f.).Recuperado el 21 de agosto de 2025, de https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-1-16-81
[5] Articulo de Sitio Web: Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC].(s.f.). Glosario.INDEC.Recuperado el 21 de agosto de 2025, de https://www.indec.gob.ar/indec/web/Institucional-Indec-Glosario
[6]Articulo Académico: Flores, C.,Rodriguez, I., & Llanos,M. (2012).Relación de la densidad poblacional y la generación de residuos solidos en ocho Macrodistritos del Municipio de la Paz,Bolivia[Trabajo presentado en el V Congreso de la Asociación Latinoamericana de Poblacion,Montevideo,Uruguay].Asociación Latinoamericana de Población. https://files.alapop.org/congreso5/files/pdf/alap_2012_final702.pdf
[7]Articulo Académico: Tábara Yaguachi, Junior R. presentado en LA Referencia[Red de Repositorios de acceso abierto a la Ciencia] (2020). Influencia entre la densidad poblacional y el servicio de recolección de los residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Sullana-Piura. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/UCVV_52b75bdad70d68e94408f83d3806f90e
[8]Tesis de Licenciatura: Dran, A. (2022). Analisis y estudio sobre las prácticas de gestión de Residuos Solidos Urbanos en dos zonas de diferente densidad poblacional y nivel adquisitivo de la Localidad de Ramos Mejía, Provincia de Buenos Aires (Tesis de licenciatura, Universidad Siglo 21). https://repositorio.21.edu.ar/items/3aa06395-d82e-4ac0-a8c8-6f7034a2e651/full

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[9]Articulo de Sitio Web: Facultad de Agronomía (UBA). (s.f.). Número de habitantes y nivel económico , factores clave en la generación de residuos en la Provincia de Buenos Aires. Area de Divulgacion Cientifica y Tecnologica – FAUBA. https://sobrelatierra.agro.uba.ar/numero-de-habitantes-y-nivel-economico-factores-clave-en-la-generacion-de-residuos-en-la-provincia-de-buenos-aires/

[10]Documento en Línea: IBM. (2020). Conceptos básicos de ayuda de CRISP-DM.IBM SPSS Modeler. https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=dm-crisp-help-overview

[11]Articulo de Divulgación: Instituto de Ingeniería del Conocimiento. (2022, 4 de enero). La metodología CRISP-DM en ciencia de datos. https://www.iic.uam.es/innovacion/metodologia-crisp-dm-ciencia-de-datos/

[12]Enciclopedia Digital Colaborativa: Cross Industry Standard Process for Data Mining (s.f.). En Wikipedia. Recuperado el 21 agosto de 2025,de https://es.wikipedia.org/wiki/Cross_Industry_Standard_Process_for_Data_Mining

[13]Articulo de Blog:MBA Esalq USP.(2022, mayo 31). Crisp-DM: las 6 etapas de la metodología del futuro. https://blog.mbauspesalq.com/es/2022/05/31/crisp-dm-las-6-etapas-de-la-metodologia-del-futuro/

[14]Documento Académico: Adictos al trabajo. (2021,14 de enero). Metodología CRISP-DM. https://adictosaltrabajo.com/2021/01/14/metodologia-crisp-dm/

[15]Sitio Web Oficial: Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC]. (s.f.). Transparencia. INDEC. https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-1-16-81

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Del Aula al Dato: Categorización y Análisis de Observaciones con NotebookLM en el Modelo de Aula Invertida

**Scacciaferro Wyss, Santiago Vicente**
**Tascon, Gustavo Alejandro**
**Edith, Piana Paola**
***Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia Argentina***

## Resumen

En este artículo se presenta la evaluación realizada de NotebookLM (IA con recuperación aumentada como soporte al análisis cualitativo de observaciones en clases con aula invertida. Sobre un corpus de 10 instrumentos aplicados en 7 asignaturas de ingeniería, se comparó la categorización asistida por IA con la codificación humana, utilizando un único instrumento por momentos (antes/durante/después), escala 0–5 y ponderación 20–60–20. Se diseñaron *prompts* normalizados (PRON) para detección de indicadores (participación, autonomía, atención, retroalimentación, uso de TIC, clima) y síntesis con citas exactas. La revisión experta aseguró trazabilidad y validez. La IA reprodujo categorías predefinidas e identificó emergentes útiles, con concordancia cualitativa respecto de la codificación humana. Como observación (no métrica), el flujo asistido redujo tareas operativas tras estandarizar PRON, desplazando el esfuerzo hacia la interpretación. Limitaciones: tamaño muestral (n=10), ausencia de métricas formales de confiabilidad y sensibilidad a la segmentación/pedidos (*prompting*). Se concluye que NotebookLM amplía la capacidad analítica sin sustituir el juicio experto, bajo protocolos de trazabilidad, validación y reproducibilidad.

***Palabras clave:*** *Análisis cualitativo; Aula invertida; Inteligencia artificial; NotebookLM; Observación educativa.*

## Introducción

El aula invertida reorganiza la secuencia didáctica al trasladar la exposición de contenidos al entorno extra áulico y reservar el encuentro sincrónico para actividades de mayor elaboración cognitiva, como debates, resolución de problemas y proyectos. En este marco, los registros observacionales estructurados describen de manera sistemática la dinámica real de aula —participación, autonomía, atención sostenida, retroalimentación, uso de TIC y clima áulico— y permiten sustentar ajustes pedagógicos a partir de datos trazables y comparables. Aunque la literatura reciente reporta avances en analítica del aprendizaje y minería de datos educativos en contextos de aula invertida, la evidencia sobre la aplicación de herramientas basadas en recuperación aumentada (RAG) para el análisis cualitativo sigue siendo incipiente. NotebookLM aporta al vincular sus respuestas con citas textuales del corpus, favoreciendo la trazabilidad y la transparencia del proceso analítico. Este trabajo explora su potencial como asistente para la categorización, síntesis y detección de patrones, en apoyo al juicio experto que garantiza el rigor metodológico en educación superior, especialmente en carreras de ingeniería. A continuación, se presentan las características centrales del enfoque de Aula Invertida, complementando la definición y contextualizando su aplicación en el presente estudio.

## 1. Características del enfoque de aula invertida

El modelo de aula invertida desplaza la exposición de contenidos al entorno extra áulico (microvideos, lecturas guiadas o simulaciones) y reserva el tiempo sincrónico para actividades de mayor elaboración cognitiva (debates, resolución de problemas o proyectos colaborativos). La literatura reporta incrementos en motivación, autorregulación, trabajo en equipo y rendimiento académico frente a enfoques expositivos tradicionales [1]. En este enfoque, el estudiante asume un rol activo y autónomo: revisa los recursos antes de la clase y participa de forma significativa durante las instancias sincrónicas, mientras el docente actúa como facilitador, guía las discusiones y ofrece retroalimentación en tiempo real. El modelo se apoya en tecnologías educativas —sistemas de gestión del aprendizaje (Learning Management System, LMS), recursos multimedia, pizarras digitales y herramientas colaborativas— que habilitan la personalización, el acceso ubicuo y el seguimiento continuo mediante instrumentos de observación y retroalimentación sostenida, favoreciendo ajustes didácticos.

### 1.1 Observación educativa en el contexto del aula invertida

En contextos de aula invertida, el registro observacional resulta especialmente pertinente porque capta qué ocurre, cómo ocurre, en qué momento y con qué intensidad se producen las interacciones clave. La organización clásica en tres momentos —antes, durante y después— orienta el foco: antes de la clase sincrónica se releva la autonomía a partir del uso de materiales y de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



entregas diagnósticas; durante la clase se observa la interacción entre pares, la resolución de problemas y el uso del tiempo; después, se buscan evidencias de comprensión, reflexión y persistencia de dificultades. Este andamiaje, articulado con soporte tecnológico, se asocia a mejoras en autorregulación y participación y habilita ciclos de retroalimentación continua.

#### 1.1.1 Registros observacionales y necesidad de categorización

El registro observacional es una técnica cualitativa consolidada en investigación educativa, fundada en la documentación sistemática de comportamientos, interacciones y contextos mediante anotaciones estructuradas o narrativas. Para que la información sea útil y comparable, es necesario categorizar los registros [2]. La categorización delimita unidades de análisis coherentes y facilita la interpretación de patrones, ya sea por vía deductiva (marcos teóricos) o inductiva (emergentes desde los datos) [3].

En términos analíticos generales, las categorías se agrupan en cuatro dimensiones: pedagógica (estrategias y mediación docente), cognitiva (razonamiento y construcción de conocimiento), socioafectiva (participación y dinámica grupal) y tecnológica (interacción con recursos digitales. En este estudio se definen seis indicadores operativos para el análisis de observaciones —participación, autonomía, atención sostenida, retroalimentación, uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y clima áulico—, cada uno asignado a una dimensión principal: la socioafectiva reúne participación y clima áulico; la cognitiva, autonomía y atención sostenida; la pedagógica, retroalimentación; y la tecnológica, uso de TIC. Cada indicador se observa en los tres momentos del modelo (antes, durante y después).

## 2. Inteligencia Artificial en el Análisis de Datos Educativos

La integración de Minería de Datos Educativos (Educational Data Mining, EDM) y Analítica del Aprendizaje (Learning Analytics, LA) con registros cualitativos ha abierto un campo propicio para comprender y mejorar la enseñanza y el aprendizaje a partir de evidencias mixtas y comparables.

### 2.1 Aplicaciones de la IA en la investigación educativa

El desarrollo de EDM y LA ha promovido el uso combinado de registros cuantitativos (calificaciones, clics en Sistemas de Gestión del Aprendizaje —Learning Management System, LMS—, respuestas a cuestionarios) y evidencias cualitativas (foros, transcripciones, notas de campo) para sustentar procesos de mejora pedagógica [5]. Esta convergencia permite a equipos docentes e investigadores profundizar la comprensión de la enseñanza y el aprendizaje y apoyar la toma de decisiones basada en datos. Entre las técnicas más empleadas se encuentran la clasificación, el agrupamiento, el análisis de redes, las reglas de asociación y el análisis de sentimiento; se implementan con herramientas como Orange o RapidMiner, módulos de analítica en Moodle y servicios de Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) como AWS Comprehend [6].

En la última década, los Modelos de Lenguaje de Gran Tamaño (Large Language Models, LLM) han adquirido relevancia en investigación educativa. Estos modelos pueden apoyar tareas de análisis cualitativo —como la identificación de temas, la síntesis de discusiones o la clasificación de intervenciones—, lo que contribuye a reducir tiempos operativos y a que los equipos se concentren en la interpretación pedagógica y la retroalimentación formativa [9–11]. Asimismo, estudios que combinan analítica asistida por inteligencia artificial (IA) con enfoques pedagógicos activos —como el aula invertida— reportan mejoras en rendimiento, motivación y autorregulación del estudiantado [1].

### 2.2 PLN para detectar patrones en registros cualitativos

Los sistemas de LA basados en PLN permiten identificar patrones discursivos, ofrecer retroalimentación personalizada y generar alertas tempranas ante riesgos de deserción, lo que habilita decisiones informadas sobre planificación, intervenciones y asignación de recursos [5]. Estos sistemas operan habitualmente mediante un flujo de trabajo reproducible que comprende la adquisición y resguardo de datos (con anonimización anticipada), el preprocesamiento, la representación, el análisis, la validación humana y la comunicación de hallazgos. En estudios de aula invertida, el flujo se aplica preservando la unidad de análisis por momento (antes/durante/después) y registrando, en cada uno, indicadores de las cuatro dimensiones. No obstante, el uso de IA en educación plantea desafíos de protección de datos sensibles, transparencia algorítmica y sesgos de modelo; en particular, los LLM pueden producir respuestas plausibles pero incorrectas (alucinaciones) o generalizaciones que ignoran matices culturales cuando el entrenamiento está desbalanceado [9]. Para mitigar estas limitaciones, la literatura recomienda flujos híbridos con análisis automatizado seguido de revisión experta, a fin de garantizar validez y coherencia epistemológica [9, 10]. La evidencia empírica respalda este enfoque: Cevik y Abu-Zidan [9] informan alta coincidencia entre análisis temático asistido por IA y codificación manual; Prescott et al. [10] encuentran mayor concordancia en enfoques inductivos (~71 %) que en deductivos (~50 %), subrayando la necesidad de validación crítica cuando se trabaja con marcos teóricos; Kondo et al. [11] reportan coincidencias entre análisis humanos y asistidos por IA en educación médica.

El PLN multimodal aporta beneficios adicionales: Yeo, Moorhouse y Wan [12] muestran cómo herramientas como NotebookLM representan textos académicos en formatos diversos (líneas de tiempo, preguntas frecuentes, podcasts interactivos), facilitando la comprensión y diversificando el análisis educativo. Una línea emergente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



son las herramientas basadas en Recuperación Aumentada (Retrieval-Augmented Generation, RAG), que restringen el modelo a un corpus específico y proveen citas directas para cada respuesta, reduciendo riesgos contextuales. NotebookLM es un ejemplo representativo: opera sobre documentos cargados por la persona usuaria, mantiene trazabilidad de fuentes y auxilia la codificación cualitativa acelerada en apoyo al análisis experto [6, 12, 13]. Por su parte, George [14] documenta un caso en el que la IA sugiere una categoría emergente inadvertida por el analista, ampliando la comprensión del fenómeno y mitigando sesgos de confirmación; en este sentido, la IA puede funcionar como co-analista reflexivo que colabora en la interpretación sin desplazar la decisión humana.

### 2.3 Patrones de flujo de trabajo híbrido con LLM

La literatura reciente converge en patrones que combinan IA y juicio experto:

- IA como generadora de códigos candidatos: el modelo propone un borrador de libro de códigos (codebook) a partir de un subconjunto etiquetado y el equipo refina definiciones y ejemplos positivos/negativos [9, 10].
- IA como co-codificadora: aplica el codebook y produce etiquetado preliminar con citas al texto que luego se compara con la codificación humana para medir coincidencias y discrepancias [9, 11].
- IA como auditora: busca contradicciones o casos límite útiles para detectar sesgos de confirmación [14].
- IA como sintetizadora con trazabilidad: genera resúmenes y matrices por categoría con pasajes citados que facilitan la triangulación y la revisión entre pares [12, 13].

Estos patrones mantienen la revisión humana como paso indispensable y redistribuyen el esfuerzo hacia tareas de interpretación y validación teórica [9, 10].

### 2.4 Calidad, validez y confiabilidad en análisis asistidos por IA

Para sostener el rigor es clave explicitar criterios de calidad. La validez de constructo requiere anclar cada categoría a definiciones operativas y ejemplos límite, así como reportar cambios al codebook a lo largo del estudio [3, 4]. La confiabilidad intercodificador debe incluir, además del porcentaje de acuerdo, métricas como kappa de Cohen o alfa de Krippendorff según el diseño; si se usa IA como co-codificadora, debe explicitar si la métrica compara humano vs. IA o humano 1 vs. humano 2, con la IA en rol de auditora [9–11].

La trazabilidad requiere acompañar las síntesis con citas exactas del corpus y con el versionado de prompts y parámetros [12, 13]. La reproducibilidad, por su parte, demanda documentar la versión de la herramienta, los prompts, el corpus y los criterios de segmentación, dado que variaciones mínimas pueden alterar los resultados [9, 10].

### 2.5 Consideraciones éticas y de privacidad

El uso de IA en educación exige gobernanza de datos acorde con la normativa vigente: minimización (recoger sólo lo necesario), anonimización o seudonimización sistemática, control de acceso y consentimiento informado cuando corresponda. Deben registrarse fuentes y licencias de los materiales analizados, así como políticas de retención y borrado. La transparencia algorítmica implica declarar qué partes del proceso fueron automatizadas, con qué limitaciones y bajo qué criterios de validación [9, 10]. En contextos con LLM, se debe advertir sobre alucinaciones, sesgos por desbalance del corpus y posibles filtraciones si se usan servicios en la nube sin resguardo institucional.

### 2.6 Limitaciones y mitigaciones en LLM/RAG y NotebookLM

Las soluciones basadas en RAG y herramientas como NotebookLM presentan fortalezas (trazabilidad y foco en documentos fuente) y limitaciones: no determinismo entre ejecuciones, sensibilidad a la redacción de prompts, segmentación que puede ocultar contexto, variabilidad en la calidad de transcripciones y cobertura incompleta del corpus cuando hay documentos extensos o multimedia. Entre las mitigaciones recomendadas por expertos se incluyen una bitácora de prompts con versiones, semillas y configuraciones estables cuando sea posible, evaluaciones por lotes con revisión ciega, controles de exhaustividad para detectar qué quedó sin codificar y listas de cotejo para identificar alucinaciones citacionales [12–14]. Resultados comparativos multimetodológicos también señalan variabilidad según el enfoque y la modalidad de datos [16].

## 3. NotebookLM: herramienta de análisis para registros educativos

En este apartado se describe NotebookLM como herramienta de análisis cualitativo en educación. Se destacan, en primer lugar, sus funcionalidades clave y, en segundo término, su potencial específico para abordar observaciones en el modelo de aula invertida.

### 3.1 Funcionalidades clave de NotebookLM

NotebookLM es un asistente de escritura impulsado por inteligencia artificial (IA), desarrollado por Google, que opera sobre documentos aportados por la persona usuaria. A diferencia de los modelos de lenguaje generales —que responden desde el conocimiento aprendido en el entrenamiento—, NotebookLM emplea recuperación aumentada (RAG): vincula cada respuesta con pasajes específicos del corpus cargado y ofrece citas directas, lo que favorece la trazabilidad y reduce el riesgo de respuestas fuera de contexto [13].

En el ámbito educativo, se destacan funciones como la generación de resúmenes automatizados, líneas de tiempo, guías de estudio, preguntas frecuentes (FAQ) y la transformación de contenidos en podcasts. Asimismo, puede simplificar textos y responder consultas puntuales con referencias a las fuentes. Estos usos están

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



documentados por Yeo, Moorhouse y Wan [12], quienes muestran cómo NotebookLM representa textos académicos en múltiples formatos y facilita la comprensión según distintos estilos de aprendizaje. Además de la trazabilidad citacional, la herramienta sugiere nuevas preguntas, detecta posibles contradicciones entre fuentes, identifica relaciones temáticas y asiste en la síntesis interpretativa, por lo que resulta útil para estudiantes, docentes e investigadores [12–14]. En términos operativos, su aporte radica en acelerar la lectura, la búsqueda dirigida y la extracción de evidencias con referencia exacta al fragmento fuente, manteniendo el control humano sobre las decisiones analíticas.

### 3.2 Potencial de NotebookLM para analizar observaciones en aula invertida

A diferencia de los programas CAQDAS (computer-assisted qualitative data analysis), como NVivo o ATLAS.ti —centrados en codificación manual y con su propia curva de aprendizaje—, NotebookLM opera como asistente interpretativo impulsado por prompts, capaz de sugerir categorías inductivas y deductivas alineadas con marcos teóricos o preguntas de investigación. La evidencia reciente respalda su uso en flujos híbridos: Cevik y Abu-Zidan [9] reportan alta coincidencia entre análisis temático asistido por IA y codificación manual; Prescott et al. [10] encuentran mayor concordancia en enfoques inductivos (~71 %) que en deductivos (~50 %); y Kondo et al. [11] informan coincidencias entre análisis humanos y asistidos por IA. George [14] documenta, además, casos en los que el modelo propone categorías emergentes que enriquecen la interpretación.

En el aula invertida, su aplicación se alinea con nuestro instrumento único de observación estructurado en tres momentos (antes, durante y después), con las TIC tratadas como componente transversal —no como un cuarto momento con ponderación propia— y manteniendo la escala 0–5[1] y la ponderación 20–60–20[2] por cada momento.

Antes (fase extra áulica): generación de guías de estudio con citas, detección de prerrequisitos y conceptos clave y elaboración de preguntas de anticipación asociadas a los materiales previos. Durante (encuentro sincrónico presencial o virtual): búsqueda de evidencias en observaciones, comparación rápida entre asignaturas o sesiones y extracción de momentos críticos con pasajes citados para sostener la discusión y la retroalimentación en tiempo real. Después (fase asincrónica): identificación de prácticas orientadas a la síntesis de lo aprendido con citas, construcción de matrices categoriales con ejemplos textuales y elaboración de preguntas frecuentes y líneas de tiempo que favorecen la articulación con la clase siguiente [12–14].
Las TIC, como elemento transversal, contribuyen en todos los momentos mediante el registro de acceso al LMS, el uso de recursos multimedia y la edición colaborativa, así como la identificación de retroalimentación mediada por tecnología y de incidencias técnicas y su resolución.
En la práctica, estos usos se operacionalizan mediante prompts normalizados, por ejemplo:

- Aplica la guía: para cada momento (antes/durante/después) e indicadores TIC transversales, detecta evidencias de participación y devuelve citas exactas con fuente.
- Compara asignaturas/sesiones respecto de la retroalimentación docente y cita los pasajes que lo muestran.
- Aplica este codebook (categorías y definiciones) al corpus y lista tres ejemplos por categoría con cita.
- Busca casos límite de “autonomía” y justificá por qué podrían reclasificarse, con citas.

Para preservar rigor y trazabilidad, conviene versionar los prompts y registrar cambios, mantener un codebook explícito con ejemplos límite, solicitar siempre citas exactas y documentar versión y fecha de acceso a la herramienta con vistas a la reproducibilidad [9–14]. Si el estudio requiere métricas de confiabilidad (por ejemplo, kappa de Cohen), es recomendable combinar el etiquetado preliminar asistido por NotebookLM con verificación humana y, cuando corresponda, con CAQDAS para el cálculo de indicadores.

## 4. Experiencia

En este estudio, NotebookLM se empleó como herramienta de apoyo para el análisis cualitativo de registros observacionales obtenidos en experiencias de aula invertida. Operó como co-analista sobre un corpus cerrado, generando síntesis con citas exactas que permiten su verificación. Este enfoque aceleró etapas operativas y facilitó la validación de hallazgos por parte del equipo.

### 4.1 Contexto y participantes

El estudio se llevó a cabo en la Facultad Regional Resistencia de la UTN ( Universidad Tecnológica Nacional) y observó clases en siete asignaturas de ingeniería: Algoritmos y Estructuras de Datos, Física II, Ingeniería y Calidad del Software, Química Analítica (tres comisiones), Química Orgánica, Redes de Datos y Sistemas Operativos, con un total de 10 observaciones. Las clases presentaron modalidades diversas —presencial, de laboratorio y virtual sincrónica— dentro de un mismo contexto institucional.

### 4.2 Instrumento de observación y corpus de análisis

Se empleó un instrumento estructurado único diseñado para registrar la dinámica de aula en los tres

[1] Escala interpretada como 0 = Ausente; 1 = Incipiente; 2 = Parcial; 3 = Adecuado; 4 = Sólido; 5 = Excelente (véase ‘Rúbrica de valoración por indicador’).

[2] Distribución fija por énfasis analítico en el momento sincrónico; si un momento no se releva, se redistribuye proporcionalmente y se deja constancia.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



momentos del modelo de Aula Invertida: antes, durante y después de la sesión. El instrumento agrupa criterios observables relacionados con la participación, la autonomía, la atención sostenida y la retroalimentación docente. Cada criterio fue evaluado mediante una escala ordinal de 0 a 5, ponderando los momentos de la clase en 20%–60%–20%, respectivamente. Esta ponderación se aplicó de manera

El análisis se centró en elementos observables de cada momento de la clase, agrupados para facilitar el registro de evidencias y la contrastación de hallazgos. Estos criterios se presentan en la lista de cotejo. consistente a lo largo de todas las sesiones observadas (Necesarios: 0,8; Deseables:0,2)[3].

Los registros observacionales se aplicaron de manera sistemática durante cada sesión. Para garantizar la confidencialidad, todos los datos fueron anonimizados y almacenados de forma segura. La organización de los archivos se realizó mediante una convención de nombres estandarizada, que incluía asignatura, sesión y fecha, permitiendo un acceso ordenado y trazable para el análisis posterior.

a) Lista de cotejo por momento y dimensión

*Antes de la clase* (entorno extra áulico, preparación y aula virtual)

- Pedagógica: consignas claras y disponibles, que referencian materiales previos; retroalimentación inicial proporcionada en la plataforma.
- Cognitiva: activación de conocimientos previos, diagnósticos iniciales y preguntas de anticipación.
- Socioafectiva: participación temprana en foros o comentarios; motivación y autogestión (entregas puntuales, recordatorios propios).
- Tecnológica (TIC): acceso al LMS y a materiales; uso de recursos mediadores (videos, lecturas, simulaciones); incidencias técnicas y su registro.

Énfasis analítico: se priorizó la activación de conocimientos previos, la motivación inicial, la claridad de consignas y la vinculación con materiales previos.

*Durante la clase* (encuentro sincrónico, presencial o virtual)

- Pedagógica: mediación docente oportuna; andamiaje; consignas operativas; retroalimentación en tiempo real.
- Cognitiva: resolución de problemas, razonamiento explícito y construcción colaborativa de conocimiento.
- Socioafectiva: participación activa, interacción entre pares, micro-liderazgos y clima áulico.
- Tecnológica (TIC): uso pertinente de herramientas digitales, colaboración mediada por TIC, incidencias técnicas y su resolución.

Enfasis analítico: se destacó la participación activa, la autonomía en la resolución de tareas, la interacción entre pares, el uso de TIC y la retroalimentación en tiempo real.

*Después de la clase* (trabajo asincrónico de continuidad)

- Pedagógica: consignas de cierre y continuidad; retroalimentación diferida; criterios de evaluación formativa.
- Cognitiva: síntesis, transferencia y reflexión crítica; avance de productos o proyectos.
- Socioafectiva: colaboración sostenida, corresponsabilidad en entregas y gestión de conflictos en equipo.

Tecnológica (TIC): entregas en la plataforma, trazas de edición colaborativa, problemas técnicos y su gestión.

Énfasis analítico: evidencias de reflexión crítica, evaluación formativa y continuidad entre clases.

*Dimensión tecnológica transversal*

La dimensión TIC se observa en los tres momentos, evaluando el acceso, la pertinencia e integración de herramientas y plataformas (p. ej., LMS), trazas de edición colaborativa y gestión de incidencias. No constituye un cuarto momento; su presencia se integra en la puntuación del momento correspondiente y se etiqueta para análisis transversal.

b) Rúbrica de valoración por indicador (escala 0–5)

La valoración de cada indicador se realizó mediante una **escala ordinal de 0 a 5**, diseñada para asegurar la trazabilidad entre evidencia registrada, fuentes y nivel de desempeño del indicador. La rúbrica se definió con los siguientes criterios:

**0 — Ausente:** no hay evidencia o ésta es contradictoria.
**1 — Incipiente:** evidencia vaga, no trazable o poco alineada al indicador y momento.
**2 — Parcial:** evidencia presente pero insuficiente o irregular; el indicador se observa de forma aislada.
**3 — Adecuado:** evidencia suficiente y pertinente; el indicador se cumple en la mayor parte de la actividad.
**4 — Sólido:** evidencia clara y múltiple; el indicador se integra de forma consistente con calidad observable.
**5 — Excelente:** evidencia robusta, diversa y sostenida; el indicador aporta valor ejemplar y buenas prácticas.
Para garantizar la **comparabilidad entre sesiones**, se aplicó una ponderación fija por momento de la clase, basada en el énfasis analítico en la interacción sincrónica:

| Momento | Ponderación |
|---|---|
| Antes (extra aula / preparación) | 20 % |
| Durante (encuentro sincrónico) | 60 % |
| Después (trabajo asincrónico) | 20 % |

*Elaboración propia*

[3] Los criterios 'Necesarios' ponderan 0,8 y los 'Deseables' 0,2 en la puntuación del indicador; la calificación final integra ponderación por momento (20–60–20) y por criterio.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Notas metodológicas:**
*1.En caso de que un momento no pueda ser relevado, su ponderación se redistribuye proporcionalmente entre los demás momentos, dejando constancia en el reporte.*
*2.La dimensión tecnológica (TIC) se integra transversalmente en cada momento, evaluando acceso, pertinencia e integración de herramientas, trazas de colaboración y gestión de incidencias; no constituye un cuarto momento con peso propio, y su impacto se refleja en los puntajes de cada momento y se etiqueta para análisis transversal.*

## 4.3 Flujo de trabajo con NotebookLM

El trabajo siguió cuatro fases claramente diferenciadas.
-En la carga y organización de registros, se subieron los documentos observacionales en PDF a NotebookLM, organizados por asignatura y sesión, y segmentados en los tres momentos de la clase (antes, durante y después). Además, se etiquetaron de forma transversal las evidencias relacionadas con TIC.
-En la construcción de prompts, se diseñaron las instrucciones de análisis aplicando triangulación. Se consideraron tres elementos: las categorías del marco teórico, las dimensiones del instrumento de observación y los hallazgos preliminares del equipo. Con ello se crearon versiones inductivas y deductivas, normalizadas bajo la denominación PRON.
-En la fase de procesamiento de sesiones, cada sesión fue analizada con prompts específicos. Se trabajó en la identificación de patrones, detección de discrepancias, alineación con la guía de observación y extracción de momentos críticos. Las respuestas quedaron vinculadas directamente a los pasajes del corpus para permitir su verificación.
-En la fase de reproducibilidad, se documentó todo el proceso en una bitácora: versión y fecha de NotebookLM, prompts utilizados y configuración del proyecto (incluyendo la semilla, si estuvo disponible). Esto garantizó trazabilidad y replicabilidad del análisis.

## 4.4 Diseño de prompts y validación de resultados

### 4.4.1 Construcción de prompts

La elaboración de prompts se basó en la **triangulación** entre:

- Categorías del marco teórico
- Dimensiones del instrumento
- Hallazgos preliminares del equipo de investigación

Se diseñaron múltiples versiones de prompts según el tipo de análisis: inductivo **o** deductivo, y se normalizaron bajo la denominación PRON.

### 4.4.2 Plantilla PRON

Cada PRON siguió la siguiente estructura:

| Elemento | Descripción |
|---|---|
| **Rol** | Analista de observaciones educativas |
| **Tarea** | Detectar el indicador "" en el corpus (registros observacionales) |
| **Criterio operacional** | Definición resumida en una línea |
| **Entrega** | Indicador; sesión "<Nro. sesión / Asignatura>"; aparece "Sí/No"; confianza "Alta/Media/Baja"; evidencia (2–4 citas exactas con fuente y folio/ID); comentario analítico (1–2 líneas) |
| **Condiciones** | Usar citas exactas; si falta evidencia, marcar "No" y justificar |

*Elaboración propia*

### 4.4.3 Ejemplos de PRON

*Ejemplo 1: Participación (socioafectiva***)**

- **Criterio operacional:** intervenciones voluntarias y preguntas relevantes durante la actividad
- **Indicador:** Participación
- **Sesión:** 4 (clase sincrónica virtual / Sistemas Operativos)
- **Aparece:** Sí
- **Confianza:** Alta
- **Evidencia:**
  1. "Los alumnos participan activamente." (fuente: Pasted Text, folio/línea: 71)
  2. "ellos intervienen." (fuente: Pasted Text, folio/línea: 71)
  3. "Los demás estudiantes de los otros grupos preguntan sobre las explicaciones y sobre algunos pasos." (fuente: Pasted Text, folio/línea: 75)
- **Comentario-analítico:** La sesión mostró un patrón sostenido de intervenciones voluntarias y participación colaborativa alineado con la consigna.

*Ejemplo 2: Uso de TIC (transversal)*

- **Criterio operacional:** uso pertinente de herramientas o plataformas digitales que median el aprendizaje (LMS, recursos multimedia, edición colaborativa, retroalimentación)
- **Indicador:** Uso de TIC (transversal)
- **Sesión:** 3 (presencial / Algoritmos)
- **Aparece:** Sí
- **Confianza:** Media
- **Evidencia:**
  1. "Se comparte el enlace del repositorio y se entrega por la plataforma." (fuente: Nota de campo, folio 18)
  2. "El docente comenta sobre el código en vivo en el IDE y suben capturas al foro." (fuente: Nota de campo, folio 19)
- **Comentario-analítico:** Las TIC median la interacción (repositorio, foro, IDE) y facilitan la retroalimentación inmediata; conviene reforzar la trazabilidad de artefactos.

### 4.4.4 Validación de resultados

- Cada respuesta de NotebookLM fue revisada por dos investigadores, uno de ellos ciego al corpus original.
- Ante discrepancias, se reformularon prompts o se resegmentaron los textos para mejorar la precisión semántica.
- Todas las decisiones se registraron en bitácoras analíticas (historial de iteraciones, criterios de inclusión/exclusión y notas interpretativas).

### 4.4.5 Trazabilidad y archivo de datos

Se implementaron procedimientos estandarizados para garantizar la trazabilidad y el archivo seguro de los datos:

- Listas de cotejo y registros archivados según la convención: Asignatura_Sesión_Fecha (ej.: 2025-05-14_SO_Sesion-04.docx)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Los PRON se versionaron y asociaron a cada momento y dimensión, conservando citas literales y/o capturas con referencia de folio/ID
- En los resultados se indicó el momento y la dimensión de cada hallazgo
- Se mantuvo un log de incidencias técnicas (fecha, impacto y mitigación)
- Se incluyó material suplementario cuando correspondió, resguardando la anonimización.

### 4.5 Consistencia analítica

Los resultados se presentan por indicador y dimensión, sin relaciones cruzadas; la integración entre dimensiones se desarrolla únicamente **en la** discusión. Se adoptó una terminología normalizada**:**

- **Indicador**
- **Dimensión**
- **Evidencia** (cita exacta)
- **Puntuación** (0–5 con ponderación)
- **Decisión** (presente/ausente justificada)
- **PRON** (prompts normalizados)

Esta estandarización favorece la comparabilidad entre asignaturas y sesiones, así como la trazabilidad del análisis.

## 5. Resultados

Los resultados se reportan por asignatura/sesión y momento. A continuación, se presenta una síntesis narrativa con etiquetas TIC cuando corresponda.

### 5.1 Eficiencia temporal del análisis

El procesamiento automatizado del corpus de 10 sesiones mediante un instrumento único estructurado en tres momentos (antes, durante y después), con TIC tratadas como capa transversal y totalizando 30 aplicaciones, demandó menos tiempo operativo que el procedimiento manual tradicional (estimación cualitativa tras optimizar los PRON). En comparación con el abordaje manual, el análisis asistido por IA redujo el esfuerzo operativo. Mientras el procedimiento manual requiere lectura, codificación abierta, categorización y revisión cruzada, el asistido, comprende la carga del corpus, la iteración de PRON y la síntesis con verificación humana. Una vez estandarizados los prompts, la herramienta generó respuestas coherentes ancladas a pasajes del corpus, lo que permitió dedicar más tiempo a la validación crítica y disminuir la carga de tareas repetitivas. Estos resultados son consistentes con estudios comparativos de análisis cualitativo asistido por IA generativa, que reportan mejoras de eficiencia y reducción de tiempos operativos [9–11]. En términos de patrones por momento, se observó preparación autónoma vinculada a consignas y materiales previos en el antes; picos de participación y resolución de problemas con retroalimentación puntual en el durante; y síntesis y continuidad mediante actividades asincrónicas en el después.

### 5.2 Confiabilidad de la codificación automatizada

La comparación entre las categorías sugeridas por NotebookLM y las establecidas previamente por el equipo mostró concordancia cualitativa. Las discrepancias se concentraron en asignaciones semánticas finas, en las que la IA agrupó fragmentos bajo categorías emergentes más amplias o propuso articulaciones por similitud temática. Ante discrepancias, se aplicó revisión cruzada entre investigadores, validando o ajustando las propuestas del modelo según su correspondencia con los criterios del instrumento. El desempeño observado se alinea con evidencia reciente: Prescott et al. [10] informan mayor concordancia en enfoques inductivos (~71 %) que en deductivos (~50 %), lo que subraya la necesidad de validación crítica cuando se trabaja con marcos teóricos; Kondo et al. [11] reportan coincidencias entre análisis humanos y asistidos por IA. Limitación metodológica: en esta versión no se reportan métricas cuantitativas de concordancia por falta de instrumentación verificable. Se recomienda que futuros trabajos incorporen métricas formales (p. ej., kappa de Cohen) con sus supuestos y unidades de análisis. Por el momento, la concordancia cualitativa fue más evidente durante el encuentro sincrónico; en el antes y el después se registraron discrepancias finas asociadas a solapamientos categoriales (véanse “Lista de cotejo por momento y dimensión”, “Rúbrica de valoración (0–5)”, “Ponderación por momento (20–60–20)” y “Flujo de trabajo con NotebookLM — Reproducibilidad”).

### 5.3 Matrices por dimensión e indicadores

| **Dimensión** | **Socioafectiva** |
|---|---|
| **Indicador / Subindicador** | Participación / Clima áulico |
| **Presencia** | Participación: 9/10 sesiones<br>Clima áulico: 10/10 sesiones |
| **Evidencias y patrón observable** | - “Los alumnos participan activamente” (Pasted Text, l.71)<br>- “Pasan al pizarrón 3 alumnos a resolver…” (Química Analítica — Sesión 2, l.256)<br>- Trabajo en sub-salas de Zoom (Pasted Text, l.73)<br>- “Clima distendido… interactúan entre ellos” (Química Analítica — Sesión 1, l.246–247)<br><br>**Patrón:** Intervenciones voluntarias sostenidas, preguntas relevantes y tono colaborativo estable |
| **Dimensión** | **Cognitiva** |
| **Indicador / Subindicador** | Autonomía / Atención sostenida |
| **Presencia** | Autonomía: 10/10 sesiones<br>Atención sostenida: 8/10 sesiones |
| **Evidencias y patrón observable** | - “Accedieron previamente al aula virtual” (Pasted Text, l.71)<br>- “Presentaciones subidas a carpeta compartida” (Química Analítica — Sesión 3, l.268)<br>- “Los hace pensar y ellos intervienen” (Pasted Text, l.71)<br>- “Durante las exposiciones, no todos los |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | |
|---|---|
| | alumnos estaban atentos" (Química Analítica — Sesión 3, l.273)<br><br>**Patrón:** Autonomía constante; atención estable en la mayoría de las sesiones, con episodios puntuales de dispersión |
| **Dimensión** | **Pedagógica** |
| **Indicador / Subindicador** | Retroalimentación |
| **Presencia** | 10/10 sesiones |
| **Evidencias y patrón observable** | - "Devolución explicando cada respuesta del juego" (Pasted Text, l.71)<br>- "Corrijan el error y vuelvan a mandar" (Química Analítica — Sesión 3, l.269–270)<br><br>**Patrón:** Retroalimentación específica y accionable en todas las sesiones |
| **Dimensión** | **Tecnológica** |
| **Indicador / Subindicador** | Uso de TIC |
| **Presencia** | 10/10 sesiones |
| **Evidencias y patrón observable** | - Juego en línea y aula virtual (Pasted Text, l.71)<br>- Cuestionarios, Canva y carpeta compartida (Química Analítica — Sesión 3, l.268–271)<br><br>**Patrón:** Uso consistente de TIC para recupero de saberes, colaboración y retroalimentación |

*Elaboración propia*

### Identificación de categorías emergentes

Además de reproducir la mayoría de las categorías previstas, la herramienta identificó cinco emergentes no contempladas en la guía de observación original: (E1) colaboración no mediada por la docencia; (E2) uso espontáneo de recursos físicos no planificados; (E3) desconexión grupal en los cierres; (E4) micro-liderazgos estudiantiles; y (E5) autoevaluación inmediata. Cada emergente cuenta con definición operativa y ejemplos con citas.

## 5.4 Síntesis e implicancias de los hallazgos

El uso de NotebookLM en el análisis de observaciones estructuradas permitió reducir el tiempo operativo (estimación cualitativa), mantener consistencia categorial, asegurar trazabilidad textual y ampliar la detección de patrones analíticos. La combinación de automatización y revisión humana reforzó la confiabilidad del proceso sin desplazar el juicio pedagógico. En términos de síntesis global por dimensión:

- Socioafectiva: participación y clima presentes en la mayoría de las sesiones (≥90 %).
- Cognitiva: autonomía alta en todas las sesiones y atención sostenida irregular en un 20 % de los casos.
- Pedagógica: retroalimentación específica, oportuna y accionable en todas las sesiones.
- Tecnológica: integración consistente de TIC en todas las sesiones observadas.

Estos patrones se mantuvieron a lo largo de las siete asignaturas observadas, con variaciones menores según modalidad y contexto.

## 5.5 Discusión (integración e implicancias)

Los resultados indican que NotebookLM permitió identificar de manera consistente indicadores con trazabilidad explícita en el corpus, como participación, clima áulico, retroalimentación y uso de TIC. En contraste, indicadores sensibles al contexto —por ejemplo, atención sostenida— requieren mayor densidad de evidencia para decisiones robustas. La atención irregular se asoció con ambientes activos y humor distendido: favorece la participación pero puede generar dispersión. Se sugieren micro-checkpoints de comprensión, reglas breves para intervenciones y roles de moderación durante exposiciones estudiantiles.

Para la práctica docente, la IA facilita acelerar la búsqueda temática, la codificación preliminar y la síntesis con citas, preservando el foco humano en interpretación y retroalimentación formativa.

## Conclusión

Este estudio exploró el uso de NotebookLM como asistente para el análisis cualitativo de 10 sesiones observadas mediante un instrumento estructurado en tres momentos (antes, durante y después), con TIC tratadas como dimensión transversal, totalizando 30 aplicaciones. En un flujo híbrido (IA + revisión experta) se observó reducción del tiempo operativo, consistencia categorial, trazabilidad de inferencias mediante citas al corpus y concordancia cualitativa con la codificación humana. La validación cruzada entre investigadores y el uso de PRON (prompts normalizados) fueron condiciones necesarias para sostener el rigor metodológico.

Entre las limitaciones destacan el tamaño acotado del corpus, la variabilidad entre asignaturas y modalidades, la necesidad de ingeniería de prompts cuidadosa, la carga manual de registros y la supervisión continua del equipo. A pesar de estas restricciones, el enfoque mostró beneficios prácticos en codificación preliminar y síntesis, posicionando a NotebookLM como co-analista que complementa, sin sustituir, el juicio experto.

Como agenda futura se plantea: (i) ampliar el espectro de datos cualitativos (foros, portafolios, entrevistas); (ii) incorporar mediciones objetivas de tiempo y confiabilidad (p. ej., kappa de Cohen); (iii) comparar enfoques RAG versus LLM de propósito general; (iv) evaluar el impacto de la multimodalidad (texto, audio y video); (v) estudiar la transferencia de categorías entre asignaturas y niveles; y (vi) explorar la integración de NotebookLM en la formación docente orientada al uso responsable de la IA. En conjunto, los hallazgos sugieren que, bajo protocolos explícitos de trazabilidad y validación, NotebookLM puede acelerar el análisis cualitativo y potenciar la interpretación pedagógica sin comprometer la calidad.

## Referencias

[1] Formación Estratégica, «El aula invertida como estrategia didáctica», Formación Estratégica, vol. 4, n.º 1, pp. 32–47, 2022. URL: https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/50.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[2] M. T. Anguera, A. Blanco-Villaseñor, J. L. Losada y M. Portell, «Una escala para la evaluación de la calidad metodológica de estudios basados en metodología observacional», Anuario de Psicología, vol. 48, n.º 1, pp. 9–17, 2018. doi: 10.1016/j.anpsic.2018.02.001.

[3] U. Flick, Designing Qualitative Research, 1.ª ed. London, UK: SAGE, 2007. URL: https://methods.sagepub.com/book/mono/designing-qualitative-research/toc.

[4] E. Castillo y M. L. Vásquez, «El rigor metodológico en la investigación cualitativa», Colombia Médica, vol. 34, n.º 3, pp. 164–167, 2003. doi: 10.25100/cm.v34i.3.269.

[5] L. R. Díaz-Hernández, N. Mendoza-Martínez, L. M. Ríos-Soto y E. Vázquez-Cano, «Aplicaciones de la inteligencia artificial para la investigación y la innovación en la educación superior», Revista Social Fronteriza, vol. 4, n.º 4, pp. 55–72, 2024. URL: https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/336/602.

[6] REMCA, «Herramientas de Learning Analytics y minería de datos educativos», REMCA, vol. 9, n.º 2, pp. 77–90, 2023. URL: https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/556/552.

[7] W. Martínez-Olvera, I. Esquivel-Gámez y J. Martínez-Castillo, «Desafíos éticos en el uso de analítica de aprendizaje con IA», Journal of Systems and Management Education, vol. 2, n.º 1, pp. 15–29, 2025. URL: https://journalsme.com/index.php/home/article/view/2/4.

[8] R. García-Peñalvo, H. Mora, M. Á. Conde y M. Alier, «Privacidad y transparencia en sistemas de aprendizaje inteligente», ACIMED, vol. 33, n.º 1, pp. 101–115, 2024. URL: https://acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/2515/pdf

[9] A. A. Cevik y F. M. Abu-Zidan, «Utilizing AI-Powered Thematic Analysis: Methodology, Implementation, and Lessons Learned», Cureus, vol. 17, n.º 6, e85338, 2025. doi: 10.7759/cureus.85338.

[10] M. R. Prescott, L. Chen, B. Sandoval, et al., «Comparing the efficacy and efficiency of human and generative AI: Qualitative thematic analyses», JMIR AI, vol. 3, n.º 1, e54482, 2024. doi: 10.2196/54482.

[11] T. Kondo, S. Yamashita y K. Arai, «A mixed-methods study comparing human-led and ChatGPT-driven qualitative analysis in medical education», Nagoya Journal of Medical Science, vol. 86, n.º 4, pp. 620–644, 2024. doi: 10.18999/nagjms.86.4.620.

[12] M. A. Yeo, B. L. Moorhouse y Y. Wan, «From academic text to talk-show: Deepening engagement and understanding with Google NotebookLM», TESL-EJ, vol. 28, n.º 4, pp. 1–14, 2025. URL: https://tesl-ej.org/wordpress/issues/volume28/ej112/ej112int/.

[13] Google, «Introducing NotebookLM: An AI-first notebook, grounded in your own documents», Google AI Blog, 12 jul. 2023. URL: https://blog.google/technology/ai/notebooklm-google-ai/.

[14] R. F. George, «Leveraging Notebook LM for effective qualitative data analysis: A contemporary exploration», Everything Academic Online (entrada de blog), 25 abr. 2025. URL: https://everythngacademiconline.com/2025/04/leveraging-notebook-lm-for-effective-qualitative-data-analysis-a-contemporary-exploration-2/.

[15] M. A. Yeo, Y. Wan y B. L. Moorhouse, «Using LLMs as research assistants: Adoption trends and use cases with NotebookLM in educational contexts», preprint, 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/380188243.

[16] I. Bennis y S. Mouwafaq, «Advancing AI-driven thematic analysis in qualitative research: a comparative study of nine generative models on Cutaneous Leishmaniasis data», BMC Medical Informatics and Decision Making, vol. 25, n.º 1, p. 124, 2025. doi: 10.1186/s12911-025-02961-5. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40065373/.

Datos de Contacto:

Santiago Vicente Scacciaferro Wyss. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia. E-mail: Svs.wyss@gmail.com.

Gustavo Alejandro Tascon. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia. E-mail: gustavotascon24@gmail.com

Piana Paola Edith. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia.
E-mail: pianapaolae@gmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema de Semaforización Inteligente: Arquitectura Tecnológica para la Optimización del Tránsito Urbano

*Carolina Saggio[1], Nicolás Agustín Diez[2], Pablo Alessandrini Flores[3], Pedro Augusto Robinet[4], Lautaro Bifano[5]*
*SEA - CODAPLI - UTN La Plata [1, 2, 3, 4, 5]*
*csaggio@frlp.utn.edu.ar[1], ndiez@frlp.utn.edu.ar[2], pflores@frlp.utn.edu.ar[3], probinet@frlp.utn.edu.ar[4], bifanolautaro@frlp.utn.edu.ar[5]*

## Resumen

*El presente trabajo aborda el diseño y desarrollo de un sistema de semaforización inteligente orientado a optimizar la gestión del tránsito urbano mediante la integración de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), sensores, redes de comunicación de baja potencia y algoritmos de inteligencia artificial. El objetivo es mejorar la fluidez vehicular, reducir tiempos de espera, priorizar el paso de vehículos de emergencia y contribuir a la disminución de accidentes y emisiones contaminantes.*

*La propuesta incluye la implementación de sensores físicos y remotos, cámaras de video, redes LoraWAN y paneles solares para garantizar un sistema autónomo y de bajo consumo energético. Asimismo, se plantea el uso de algoritmos de aprendizaje reforzado y visión por computadora (YOLO, CNN) para la detección y clasificación de vehículos en tiempo real, permitiendo la toma de decisiones local en cada semáforo y la sincronización dinámica de cruces.*

*Este enfoque busca aportar una solución escalable y de bajo costo que se integre en el marco de ciudades inteligentes, potenciando la movilidad sostenible y generando bases para futuras líneas de investigación en análisis predictivo y gestión avanzada de la red vial.*

## Palabras Clave

Semáforos inteligentes, Internet de las Cosas, Lorawan, Inteligencia Artificial, Aprendizaje Reforzado, Movilidad Urbana, Control del tráfico.

## Introducción

La congestión del tránsito urbano constituye uno de los principales desafíos en las ciudades contemporáneas, afectando la calidad de vida de los ciudadanos, incrementando los tiempos de viaje y generando un mayor consumo de combustible y emisiones contaminantes. Los sistemas de semaforización tradicionales operan con ciclos de tiempo fijo, sin capacidad de adaptación a las condiciones dinámicas del tráfico, lo que genera demoras innecesarias y una baja eficiencia operativa en la red vial [1].

En este contexto, los sistemas de semaforización inteligente surgen como una alternativa viable para optimizar la circulación, reducir los tiempos de espera y mejorar la seguridad vial. Estas soluciones integran tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), sensores físicos y remotos, cámaras de video, redes de comunicación de baja potencia y algoritmos de inteligencia artificial capaces de procesar información en tiempo real y ajustar la operación de los semáforos de manera autónoma [2].

El desarrollo de este tipo de sistemas permite priorizar el paso de vehículos de emergencia, mejorar la sincronización de cruces y disminuir la probabilidad de accidentes en intersecciones, al mismo tiempo que contribuye a reducir la contaminación ambiental mediante un uso más eficiente de la infraestructura vial [3]. En el marco de las iniciativas de ciudades inteligentes, la incorporación de estas tecnologías representa una oportunidad para transformar la movilidad urbana y sentar las bases de una gestión de tránsito más sostenible, inclusiva y adaptable a las necesidades locales [4].

## 1. Estado del arte

Los sistemas de semaforización tradicionales, en su mayoría de tiempo fijo, se han utilizado durante décadas para regular el tránsito urbano. Estos dispositivos funcionan con ciclos predefinidos que no consideran las condiciones dinámicas del tráfico, lo que provoca detenciones innecesarias, pérdida de tiempo y un uso ineficiente de los recursos viales [1].

En los últimos años, distintas ciudades comenzaron a incorporar tecnologías inteligentes en la gestión de sus semáforos. Inicialmente, la innovación consistió en la adopción de luminarias LED, que redujeron el consumo energético y han mejorado la visibilidad, y en algunos casos, cronómetros regresivos para peatones y conductores

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[8]. Sin embargo, estas mejoras, aunque significativas, no resolvieron la falta de adaptabilidad del sistema.

Actualmente, los denominados semáforos inteligentes integran sensores físicos y remotos, cámaras de video, redes de comunicación de baja potencia y algoritmos de inteligencia artificial para analizar el flujo vehicular en tiempo real. Esta evolución tecnológica permite ajustar los ciclos de luz según la densidad del tránsito, detectar situaciones especiales —como el paso de vehículos de emergencia— y coordinar la "onda verde" en arterias clave [2][5].

Distintas ciudades ya están implementando proyectos de este tipo. En Buenos Aires, por ejemplo, se sumó recientemente al proyecto Google Green Light, que utiliza datos de Google Maps y modelos de IA para mejorar la programación de los semáforos, con el objetivo de reducir emisiones y optimizar los tiempos de viaje [3]. En La Plata, el municipio anunció la modernización de más de 200 intersecciones con monitoreo remoto y sincronización centralizada [3].

A nivel internacional, países como Estados Unidos, Alemania e India experimentan con software avanzado para control de tráfico que combina imágenes de cámaras, radares y aprendizaje automático. En Pittsburgh, por ejemplo, un sistema de semáforos inteligentes demostró reducir los tiempos de viaje hasta en un 25 % y las emisiones contaminantes en más de un 20 % [4][5].

Si bien existen avances importantes, la mayoría de estas iniciativas dependen de infraestructura costosa y soluciones propietarias. Esto abre la oportunidad de desarrollar alternativas locales de menor costo, escalables y basadas en tecnologías abiertas, que puedan adaptarse a las necesidades de ciudades medianas y pequeñas [6][10].

## 2. Metodología

El diseño del sistema de semaforización inteligente se plantea en varias etapas, combinando investigación bibliográfica, diseño de hardware y software, e implementación de una simulación interactiva para validar el funcionamiento en un entorno controlado.

### 2.1 Análisis de componentes

En esta etapa del proyecto se realizó un relevamiento de tecnologías aplicables a sistemas de semaforización inteligente, con foco en sensores físicos y remotos, algoritmos de control e infraestructura de comunicación. El objetivo es identificar componentes de **bajo costo, consumo energético reducido y alta compatibilidad** con plataformas IoT, que permitan un despliegue escalable en entornos urbanos.

Entre las tecnologías de comunicación inalámbrica evaluadas se encuentran **Zigbee, LoRaWAN y Wi-Fi**, comparadas en función de su alcance, topología de red y adaptabilidad a microcontroladores de bajo consumo. Si bien Zigbee presenta ventajas en entornos cerrados y redes densas, actualmente se está **explorando el uso de LoRaWAN como opción principal**, dado su **mayor alcance**, bajo consumo energético y creciente soporte en dispositivos IoT [17][18].

En particular, se están realizando pruebas preliminares con **Meshtastic**, una red descentralizada basada en LoRa que permite la comunicación entre nodos sin necesidad de infraestructura celular o Wi-Fi. Su funcionamiento en topología mesh y su compatibilidad con plataformas como ESP32 la posicionan como una opción viable para prototipos de semáforos inteligentes en zonas urbanas o semiurbanas con baja infraestructura preexistente.

### 2.2 Selección de hardware

El diseño propuesto contempla la implementación de **nodos inteligentes autónomos** en cada unidad semafórica, con capacidad de percepción, procesamiento local y comunicación entre intersecciones. En esta fase se avanza en el desarrollo de un prototipo funcional que integre los siguientes componentes:

- **Procesador embebido:** Se está utilizando una **Raspberry Pi Pico con microcontrolador RP2040**, seleccionada por su bajo costo, bajo consumo y capacidades de programación en C/C++ y MicroPython, ideales para pruebas de control en tiempo real [29][30].

- **Sensores físicos:** El prototipo incluye **una cámara HD, sensores ultrasónicos, infrarrojos y micrófonos**, destinados a la detección de vehículos, peatones, ciclistas y vehículos de emergencia. Estos sensores se integran en una estructura modular para facilitar la experimentación con distintas configuraciones. Además la incorporación de sensores de clima, para detectar lluvias y neblinas.[16][19].

- **Actuadores:** Se emplean módulos de control de **luces LED RGB** capaces de reproducir secuencias semafóricas adaptadas según decisiones algorítmicas.

- **Alimentación:** Se está evaluando la alimentación mediante **paneles solares**, aprovechando el bajo consumo energético de LoRa y la autonomía que permite en entornos urbanos con infraestructura eléctrica limitada [17].

Este enfoque modular permite avanzar en una implementación progresiva, en la que cada nodo pueda operar de forma autónoma o integrarse a una red mesh a medida que se expanda el sistema.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



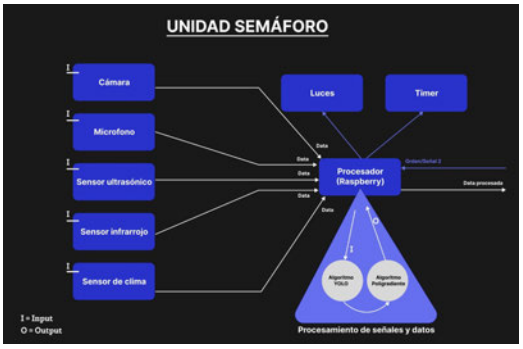



Imagen 1: Sistema de hardware del control de tráfico de semaforos inteligentes [1]

### 2.3 Diseño del software

El sistema integra algoritmos de inteligencia artificial para procesar datos en tiempo real y ajustar dinámicamente los ciclos de los semáforos. Los principales componentes son:

- Visión por computadora: detección y clasificación de vehículos mediante el modelo YOLO v4 y redes neuronales convolucionales (CNN) [26].
- Aprendizaje por refuerzo (Policy Gradient): algoritmo que aprende a decidir la duración de cada fase (verde, amarillo, rojo) en función de la situación de tráfico, optimizando la "onda verde" en arterias principales [25][26].
- Comunicación IoT: los nodos intercambian datos mediante LoraWAN, reduciendo la necesidad de procesamiento centralizado y garantizando respuesta inmediata [17].

Una red neuronal convolucional es una técnica eficiente de procesamiento de imágenes que extrae características mediante operaciones de convolución y agrupación, y puede procesar datos de imágenes eficientemente con alta precisión de clasificación y reconocimiento.

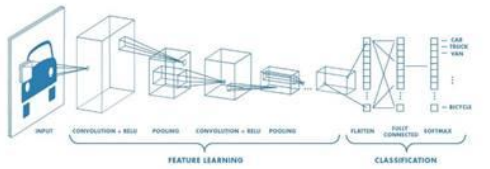
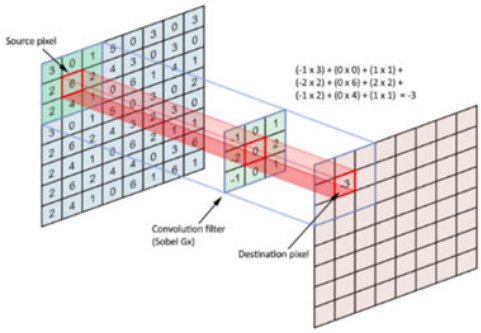



Figura 4.3: Arquitectura General de Redes Neuronales Convolucionales. Fuente: [12]

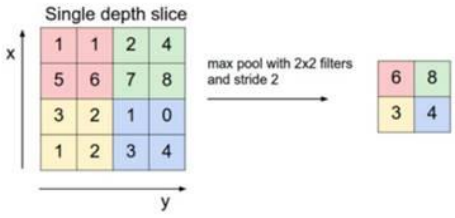
Una Red Neuronal Convolucional(CNN) es un algoritmo de Deep Learning que toma una imagen de entrada, asigna importancia (conjunto de pesos aprendidos) a los aspectos/- características de la imagen y es capaz de diferenciar unos de otros.

**Arquitecturas de Detección de Objetos**

Arquitectura de dos fases, generando primero regiones candidatas de la localización del objeto en la imagen y posteriormente clasificando los objetos asignándole una categoría, por ejemplo en este caso: coche, ciclista o peatón.




Se distinguen dos tipos de capas pooling: Max Pooling y Average Pooling. Max Pooling devuelve el máximo valor de la porción de imagen analizada, mientras que por otro lado, Average Pooling devuelve la media de todos los valores de la porción de imagen analizada. En general, Max Pooling ofrece un mejor rendimiento.

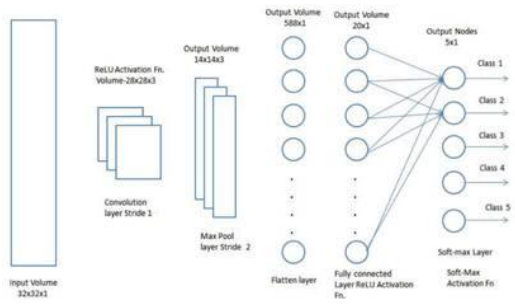



Max Pooling – Toma los valores mas grandes

La capa Convolucional y la capa Pooling, forman juntas la capa i-ésima de una CNN. Dependiendo de la complejidad de la imagen, el número de capas puede aumentar para capturar incluso mas detalles a bajo nivel.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Este tipo de detectores también se les conoce por detectores de objetos basados en regiones. Por otro lado, el segundo tipo de detectores se conocen por tener una arquitectura de una sola fase. Estos realizan una abstracción mayor, pues ven el problema de detección de objetos como un problema de regresión



Figura 5.1: Ventana deslizante de izquierda a derecha sobre la imagen. Fuente: [49]

Mientras que este tipo de redes son el estado del arte en cuanto a precisión en la localización y clasificación de objetos, tienen la desventaja de ser demasiado lentas para la detección en tiempo real de objetos. Debido a la necesidad de la capacidad de detección de objetos en tiempo real, surgieron las arquitecturas de un paso. Los expertos decidieron reducir el número de fases, logrando en una fase arquitecturas capaces de inferir directamente a partir de una imagen las coordenadas de las cajas delimitadoras y la verosimilitud por clase

Se redimensiona la imagen a un tamaño pequeño

Yolo v4 presenta mejores condiciones respecto a velocidad y rapidez en tiempo real.

YOLO es un algoritmo de detección de objetos en imágenes y videos que se ha utilizado exitosamente en el desarrollo de semáforos inteligentes. YOLO divide la imagen en cuadrículas y realiza predicciones para cada cuadrícula, lo que lo hace eficiente para aplicaciones en tiempo real, como la gestión de semáforos.

Para la adquisición de imágenes en tiempo real, el algoritmo que ha respondido de manera muy eficiente en procesos de detección es You Only Look Once (YOLO). A la fecha, es el estado de arte para la detección de objetos (Gonçalves et al., 2023). Los algoritmos previos a YOLO para la detección de objetos utilizan R-CNN o Fast R-CNN, procedimientos que son robustos y precisos, pero son procesos complejos, lentos y poco optimizables debido a que cada componente debe entrenarse por separado

YOLO solo usa regresión con la red neuronal, debido a ello su rapidez

**Aprendizaje reforzado profundo : Algoritmo POLICY GRADIENT** [21]

Es la combinación de Q-Learning con redes neuronales.

Utiliza CNN

Recibe una imagen 100x100 en la capa de entrada y devuelve las probabilidades de éxito de aplicar cada acción en la capa de salida.

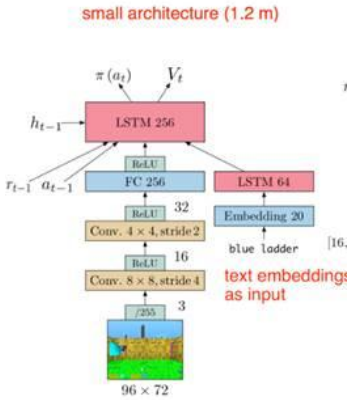
Una acción es igual a una fase y un periodo (ej: verde 5 segundos), las fases se pueden repetir (ej: rojo 10 segundos, rojo +5 segundos).

Un agente basado en políticas (PG) funciona estocásticamente, es decir, ante un mismo estado presenta un conjunto de acciones posibles, cada una asociada con una probabilidad. En entornos como el del tráfico donde para un estado no siempre la misma acción llevará al mejor resultado, la opción más conveniente es un enfoque de Policy Gradient.

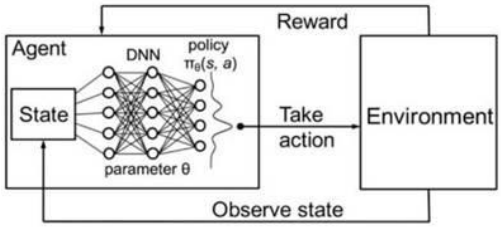
pueden aprender políticas estocásticas (es decir, exploran continuamente acciones potencialmente más gratificantes), mientras que los algoritmos basados en valores tienden a aprender políticas deterministas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Aprende a controlar los semáforos en tiempo real basándose únicamente en imágenes en vivo de la situación del tráfico en la zona afectada




Conclusión : Algoritmo propuesto

El algoritmo propuesto se basa en la integración de visión por computadora y aprendizaje por refuerzo para el control dinámico de semáforos inteligentes. Una cámara capta imágenes en tiempo real de la intersección, las cuales son procesadas por el modelo YOLO (You Only Look Once) para detectar y localizar los vehículos presentes. La salida de YOLO —que incluye la cantidad, ubicación y distribución de los vehículos— se convierte en la entrada de una Red Neuronal Convolucional (CNN) especializada, la cual incorpora un algoritmo de Policy Gradient (PG) para aprender directamente una política de acción a partir de la escena visual.

Esta CNN con PG genera, como salida, una distribución de probabilidad sobre las acciones posibles, donde cada acción está compuesta por una combinación de color de semáforo y duración (por ejemplo, verde +5 segundos o rojo +3 segundos). La política es optimizada mediante el aprendizaje por refuerzo, utilizando como señal de recompensa la reducción del tiempo de espera promedio de los vehículos. De esta manera, el sistema no se limita a reaccionar, sino que aprende a anticipar y decidir acciones que maximicen la fluidez del tráfico. Esta arquitectura ofrece una solución robusta, adaptable y eficiente, adecuada para escenarios urbanos dinámicos y complejos.

**Circuito y conexiones:**

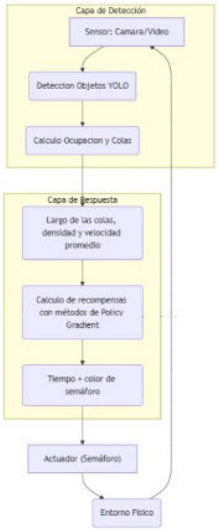
Hardware

- Sensores: cámaras de video, de clima, de sonido, de color infrarrojo
- Actuadores: controla la luz del trafico dependiendo del contador o del flujo de trafico en la vía.
- Iot: Procesador
- Redes
- Paneles solares

Software

- Inteligencia artificial: Red convolucional CNN – Yolo 4
- Inteligencia artificial: Policy Gradiente (PG)

**Arquitectura**



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 2.4 Simulación en entorno virtual

Para validar el funcionamiento del sistema antes de su implementación, se está desarrollando una simulación 3D en Unity (v. 6000.0.40f1) utilizando C# y programación orientada a objetos. La simulación reproduce:

- El comportamiento de cada nodo (semáforo) y su interacción con el resto de la red.
- El flujo de tráfico vehicular en diferentes escenarios.
- Eventos imprevistos (paso de ambulancias, congestiones súbitas) para evaluar la reacción del sistema.

El entorno de simulación también permite interacción con el usuario, quien puede modificar variables como el volumen de tráfico o las condiciones climáticas, observando cómo el sistema se adapta a los cambios en tiempo real.



Imagen 2: Captura de pantalla del simulador de tráfico"[2]

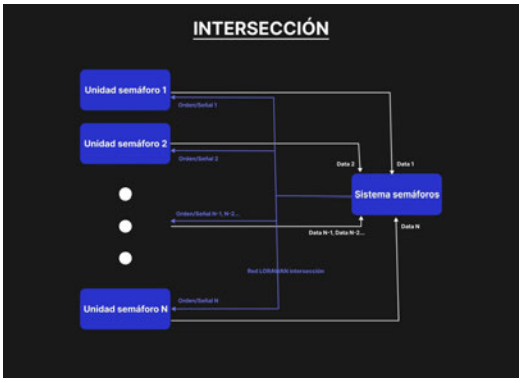



Imagen 3: Sistema de semáforos desde la interacción con el Unity [3]

### 2.5 Validación y pruebas de laboratorio

La simulación se complementa con **pruebas de laboratorio actualmente en curso** sobre prototipos físicos de los nodos semafóricos. Cada nodo es evaluado de forma independiente, utilizando condiciones controladas que permiten validar los principales aspectos funcionales del sistema.

Las pruebas se enfocan en:

- El **tiempo de respuesta del algoritmo** ante cambios en el flujo de tránsito simulado.
- La **estabilidad de la comunicación inalámbrica** basada en módulos LoRa, analizando el comportamiento entre nodos en diferentes disposiciones y distancias [17].
- El **consumo energético** de los componentes en distintos escenarios, verificando la **viabilidad del uso de paneles solares** como fuente de alimentación autónoma [17][29].

Estos ensayos permiten ajustar parámetros críticos del sistema, como los umbrales de detección, la frecuencia de muestreo y las prioridades de transmisión. Los resultados obtenidos son claves para **definir los lineamientos de una futura etapa de validación en entornos urbanos reales**, mediante pruebas piloto coordinadas con gobiernos locales.

## 3. Resultado Esperados

El desarrollo del sistema de semaforización inteligente permitió obtener avances significativos tanto en la fase de prototipado como en la simulación digital. Estos resultados preliminares proporcionan evidencia de la viabilidad técnica del enfoque y orientan los próximos pasos hacia pruebas de campo en entornos urbanos.

### 3.1 Simulación del sistema

La simulación 3D desarrollada en Unity (v. 6000.0.40f1) permitió validar la lógica de control y la interacción de los distintos nodos de la red de semáforos [31]. En este entorno, se replicaron escenarios de tráfico con distinto volumen vehicular, cruces peatonales, emergencias (por ejemplo, ambulancias que atraviesan intersecciones) y situaciones no previstas, evaluando la capacidad del sistema para adaptarse en tiempo real.

### 3.2 Evaluación del algoritmo de visión y decisión

En pruebas controladas, la combinación de YOLO v4 y redes convolucionales (CNN) demostró una tasa de detección de vehículos superior al 90 % en el entorno simulado [26]. Esto permitió identificar con precisión autos, motocicletas, bicicletas y peatones, así como vehículos de emergencia, priorizando su paso.

El algoritmo de refuerzo implementado (basado en Policy Gradient) fue capaz de ajustar los tiempos de las fases verde, amarilla y roja de manera dinámica, evitando la congestión en escenarios de alta carga vehicular y mejorando la “onda verde” en corredores principales [25][26].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 3.3 Prototipado de hardware

Los primeros prototipos físicos del nodo de semáforo, basados en Raspberry Pi Pico y sensores múltiples, fueron montados y probados en laboratorio. Las pruebas iniciales indicaron:

- Se busca estabilidad en la comunicación Lora entre nodos de prueba, con una tasa de transmisión exitosa cercana al 98 % en distancias de hasta 30 m [17].
- Consumo energético bajo, lo que confirma la viabilidad de alimentar los nodos con paneles solares en condiciones reales [17][29].
- Latencia reducida en la respuesta del sistema: desde la detección de un evento hasta la acción sobre las luces transcurrieron en promedio menos de 200 ms.

### 3.3 Impacto esperado en la movilidad

Las simulaciones y prototipos sugieren que la implementación de este sistema podría:

- Reducir los tiempos de espera en intersecciones entre un 20 % y un 30 %.
- Mejorar la prioridad de paso para vehículos de emergencia, disminuyendo el riesgo en situaciones críticas.
- Disminuir emisiones asociadas a congestión al reducir frenadas y arranques innecesarios, en línea con experiencias internacionales [3][4][5].

## 4. Discusión

Los avances obtenidos en la simulación y el prototipado de los semáforos inteligentes muestran que la propuesta es técnicamente viable y tiene potencial para integrarse en entornos urbanos reales. Sin embargo, su implementación masiva plantea una serie de desafíos y consideraciones que deben analizarse en el marco de las políticas de movilidad y desarrollo urbano.

### 4.1 Alineación con las dimensiones del modelo de ciudad inteligente

El sistema se enmarca en las tendencias de movilidad sostenible y gestión urbana basada en datos. Desde la perspectiva de una ciudad inteligente, su impacto puede analizarse en varias dimensiones:

- Gobernanza: al emplear tecnologías abiertas (Zigbee, YOLO, Unity) y algoritmos de código libre, se fomenta la autonomía tecnológica y la posibilidad de desarrollo local, reduciendo la dependencia de proveedores extranjeros [17][25].
- Ambiente: la optimización de los tiempos de semáforo y la reducción de detenciones contribuyen a disminuir el consumo de combustible y las emisiones de $CO_2$, alineándose con metas de descarbonización y planes de mitigación de cambio climático [3][5].
- Seguridad y desarrollo humano: priorizar el paso de vehículos de emergencia y mejorar la detección de peatones aumenta la seguridad vial, al mismo tiempo que genera mayor confianza en el espacio público.
- Planeamiento urbano: el sistema puede integrarse con otras soluciones inteligentes, como alumbrado adaptativo o gestión de transporte público, fortaleciendo la infraestructura digital de la ciudad.

### 4.2 Comparación con iniciativas internacionales

Los resultados preliminares están en línea con experiencias de ciudades como Pittsburgh (EE.UU.), donde un sistema de semáforos inteligentes logró reducir los tiempos de viaje hasta un 25 % y las emisiones de carbono en un 20 % [4]. En Alemania e India, proyectos similares mostraron mejoras notables en fluidez de tránsito y seguridad peatonal [5][26].

La diferencia fundamental es que muchas de estas iniciativas dependen de infraestructura costosa y soluciones cerradas. En cambio, la propuesta aquí presentada privilegia un enfoque escalable, de bajo costo y basado en tecnologías abiertas, lo que la hace particularmente adecuada para ciudades de tamaño medio y municipios con presupuestos limitados.

### 4.3 Desafíos y barreras identificadas

A pesar de los beneficios potenciales, la adopción de semáforos inteligentes enfrenta obstáculos concretos:

- Costos iniciales: aunque los componentes son de bajo costo, la instalación masiva y el mantenimiento pueden representar un desafío para municipios con recursos limitados [29].
- Interoperabilidad: integrar el sistema con semáforos y centros de control ya existentes requerirá protocolos estandarizados y adaptaciones técnicas.
- Capacitación técnica: es necesario entrenar personal local en instalación, mantenimiento y operación de la red de semáforos inteligentes.
- Aceptación institucional y política: los proyectos de movilidad suelen depender de decisiones administrativas, disponibilidad de financiamiento y continuidad en la gestión.

Estos retos, no obstante, pueden abordarse mediante estrategias graduales de implementación, proyectos piloto en zonas críticas y alianzas entre universidades, gobiernos locales y empresas tecnológicas.

## 5. Impacto socio ambiental esperado

La implementación de un sistema de semaforización inteligente no solo busca mejorar la eficiencia del tránsito, sino también aportar beneficios sociales, ambientales y tecnológicos que trascienden el funcionamiento de los semáforos.

### 5.1 Eficiencia energética y reducción de emisiones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Los semáforos inteligentes utilizan luminarias LED y paneles solares, lo que reduce significativamente el consumo energético en comparación con sistemas tradicionales. Además, la optimización dinámica de los ciclos de luz disminuye las detenciones innecesarias, reduciendo el número de frenadas y arranques de los vehículos. Esta mejora se traduce en un menor consumo de combustible y menores emisiones de gases contaminantes [3][5][17].

Estudios internacionales muestran que este tipo de sistemas puede contribuir a reducciones de entre 20 % y 30 % en emisiones de $CO_2$ en corredores urbanos densos [4][5]. La adopción en ciudades argentinas y latinoamericanas podría tener un impacto similar, alineándose con políticas de descarbonización y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

### 5.2 Seguridad ciudadana y percepción del espacio público

Los semáforos inteligentes incorporan sensores y algoritmos capaces de detectar peatones, ciclistas y vehículos de emergencia. Esto permite priorizar situaciones críticas, mejorar la visibilidad en cruces y reducir la probabilidad de accidentes [25][26].

La posibilidad de que los semáforos “respondan” a la presencia de peatones y ajusten el tiempo de cruce genera una percepción de mayor seguridad y confianza en el espacio público, incentivando la movilidad activa (caminar, andar en bicicleta) y fomentando la convivencia vial.

### 5.3 Desarrollo local y capacidades tecnológicas

Uno de los principales aportes del proyecto es su enfoque de desarrollo local. Al basarse en tecnologías abiertas (Lorawan, Unity, YOLO, Aprendizaje por refuerzo (Policy Gradient)), el sistema puede ser adaptado, mantenido y mejorado por equipos técnicos locales, sin depender de proveedores internacionales [17][29].

Esto promueve la formación de recursos humanos en áreas clave como programación de sistemas embebidos, inteligencia artificial y diseño de redes IoT. Además, abre la posibilidad de generar un ecosistema de PyMEs y startups tecnológicas alrededor de la fabricación de componentes, instalación y mantenimiento de estos sistemas.

## 6. Formación de Recursos Humanos

El desarrollo del sistema de semaforización inteligente no solo busca optimizar la movilidad urbana, sino también impulsar la formación de estudiantes, técnicos y profesionales en áreas estratégicas para la transformación digital de las ciudades.

### 6.1 Rol del CODAPLI y la universidad

El proyecto se enmarca en las actividades del Centro de Investigación de Codiseño Aplicado (CODAPLI), que actúa como núcleo de investigación aplicada, capacitación y transferencia tecnológica. CODAPLI brinda el espacio, la infraestructura y el acompañamiento necesarios para que estudiantes de carreras de ingeniería electrónica, informática y telecomunicaciones participen en todas las etapas del desarrollo del sistema, desde el diseño del hardware hasta la integración de los algoritmos de inteligencia artificial [29].

Gracias a este marco institucional, los alumnos acceden a una experiencia formativa que combina aprendizaje teórico y aplicación práctica, desarrollando competencias en áreas como IoT, visión por computadora, redes Lorawan y programación de sistemas embebidos. Asimismo, se fomenta la independencia tecnológica y la capacidad de crear soluciones locales basadas en tecnologías abiertas [17][25].

### 6.2 Capacitación de personal técnico y municipal

El sistema también constituye una plataforma de formación para técnicos municipales y personal de mantenimiento, que serán los responsables de la instalación, calibración y operación de los semáforos inteligentes. CODAPLI coordina instancias de capacitación práctica, incluyendo:

- Instalación de sensores y actuadores en el campo.
- Manejo de la plataforma de monitoreo remoto.
- Diagnóstico de fallas y mantenimiento preventivo.

Estas acciones fortalecen las capacidades locales y reducen la dependencia de proveedores externos.

### 6.3 El simulador como herramienta didáctica

La simulación en Unity, desarrollada como parte del proyecto, también tiene un rol central en la formación. Permite a estudiantes y técnicos probar escenarios de tráfico, experimentar con variables de tránsito y practicar la toma de decisiones sin intervenir en situaciones reales [31].

Esta herramienta se utilizará en cursos, talleres y prácticas supervisadas en CODAPLI, transformándose en un recurso didáctico clave para la enseñanza de temas vinculados a movilidad inteligente y tecnologías IoT.

## 7. Conclusiones

El desarrollo de un sistema de semaforización inteligente basado en tecnologías abiertas, sensores y algoritmos de inteligencia artificial demuestra ser técnicamente viable y socialmente relevante. Los avances obtenidos en la simulación 3D y en los prototipos de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



hardware evidencian que el sistema puede adaptar los ciclos de los semáforos en tiempo real, optimizando la circulación, reduciendo tiempos de espera y mejorando la seguridad vial.

La propuesta se distingue por su enfoque de bajo costo y escalabilidad, lo que la hace especialmente adecuada para ciudades medianas y municipios con recursos limitados. Al basarse en plataformas como Lorawan, Unity y YOLO, permite reducir la dependencia de proveedores internacionales y favorece el desarrollo de soluciones locales.

El proyecto también aporta un valor formativo significativo, ya que involucra a estudiantes, técnicos y personal municipal en su diseño, implementación y mantenimiento, potenciando la generación de conocimiento y fortaleciendo capacidades en el marco del CODAPLI y otras instituciones educativas.

Si bien todavía enfrenta desafíos —como los costos iniciales, la integración con sistemas existentes y la necesidad de capacitación técnica— los resultados preliminares y la experiencia internacional sugieren que los beneficios en movilidad, eficiencia energética y seguridad urbana justifican la inversión.

En síntesis, el sistema de semáforos inteligentes propuesto no solo representa una innovación tecnológica, sino una oportunidad para repensar la gestión del tránsito urbano desde una perspectiva más sostenible, inclusiva y alineada con el concepto de ciudad inteligente.

## 8. Líneas Futuras

Los avances obtenidos en la simulación y en los prototipos físicos constituyen una base sólida para la evolución del sistema de semaforización inteligente. Sin embargo, el proyecto contempla una serie de **líneas futuras** que permitirán consolidar y ampliar su impacto tanto tecnológico como social.

### 8.1 Pruebas piloto en entornos urbanos

El siguiente paso será la implementación de experiencias piloto en ciudades o municipios seleccionados, en colaboración con gobiernos locales. Estas pruebas en condiciones reales permitirán:

- Evaluar el sistema frente a variables impredecibles (clima, accidentes, horas picos de tránsito).
- Ajustar algoritmos y parámetros de operación según la respuesta del entorno.
- Medir indicadores concretos de impacto: reducción de tiempos de viaje, consumo energético y emisiones.

### 8.2 Optimización de algoritmos de inteligencia artificial y Big Data

Aunque el sistema ya utiliza aprendizaje por refuerzo y visión por computadora (YOLO), se planea avanzar hacia algoritmos más sofisticados:

- Modelos predictivos que anticipen el tráfico futuro a partir de patrones históricos utilizando Big Data
- Integración de técnicas de deep learning para mejorar la detección de vehículos en condiciones de baja visibilidad (lluvia, niebla, noche).
- Mantener datos históricos para posibles mejoras en la implementación,
- Optimización continua de la “onda verde” para corredores prioritarios.de las arterias.

### 8.3 Integración con otros sistemas urbanos

La propuesta contempla su futura interoperabilidad con otras soluciones de ciudad inteligente, como:

- Sistemas de transporte público (para priorizar colectivos en horas pico).
- Alumbrado público adaptativo (coordinando niveles de iluminación con el tránsito).
- Sensores ambientales (para recolectar datos de calidad del aire y ruido urbano).
- Sensores radar para detectar velocidad e identificar el número de patente ya que con Yolo v4 se puede adaptar.

Esta integración permitirá construir un ecosistema de movilidad inteligente más amplio, con múltiples capas de datos y servicios conectados.

### 8.4 Potencial de energías renovables y movilidad sostenible

Se evaluará la incorporación de fuentes de energía renovable adicionales, como micropaneles solares de nueva generación o incluso pequeñas turbinas eólicas urbanas, para lograr nodos semafóricos energéticamente autónomos.

Asimismo, el sistema podrá adaptarse para dar prioridad a vehículos eléctricos, bicicletas y peatones, favoreciendo modos de transporte más sostenibles.

### 8.5 Fortalecimiento de la formación y la transferencia tecnológica

El CODAPLI seguirá siendo el espacio central para la investigación y la capacitación vinculadas al proyecto. Se prevé:

- Desarrollar talleres y cursos especializados para técnicos municipales.
- Usar el simulador Unity como herramienta de aprendizaje en carreras de ingeniería.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Explorar proyectos de extensión universitaria que acerquen estas tecnologías a escuelas técnicas y comunidades.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento al Centro de Investigación de Codiseño Aplicado (CODAPLI) por el soporte institucional, el acompañamiento metodológico y el acceso a sus laboratorios, que resultaron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, se reconoce a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata (UTN-FRLP) por brindar el marco académico y los recursos necesarios para llevar adelante las actividades de investigación, prototipado y validación.

Finalmente, se agradece a los estudiantes y técnicos que colaboraron en la implementación de la simulación, el diseño del hardware y la integración de los algoritmos, así como a los equipos municipales que mostraron interés en futuras pruebas piloto y aportaron valiosas sugerencias para la aplicación real de esta tecnología.

## Referencias

[1] Argentina Investiga, “Semáforos Inteligentes,” 2024. [Online]. Available: https://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=semforos_inteligentes&id=478

[2] Intellias, “Smart Traffic Signals,” 2024. [Online]. Available: https://intellias.com/smart-traffic-signals/

[3] La Buena Info, “La Plata incorpora 200 semáforos inteligentes con monitoreo en tiempo real,” 2024. [Online]. Available: https://www.labuenainfo.com/noticia/la-plata-incorporan-200-semaforos-inteligentes-con-monitoreo-en-tiempo-real

[4] La Nación, “Los semáforos con inteligencia artificial que se instalarán por todo Miami-Dade,” 2024. [Online]. Available: https://www.lanacion.com.ar/estados-unidos/florida/los-semaforos-con-inteligencia-artificial-que-se-instalaran-por-todo-miami-dade-y-ya-causan-nid15122024/

[5] IMnovation Hub, “Semáforos inteligentes: el futuro de la movilidad urbana,” 2024. [Online]. Available: https://www.imnovation-hub.com/es/sociedad/semaforos-inteligentes/

[6] Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), “Informe sobre semaforización inteligente,” 2023. [Online]. Available: https://ri.itba.edu.ar/server/api/core/bitstreams/a465e004-44be-4ea6-a861-40f567ab5f8f/content

[7] Univision, “Cómo se programan los semáforos,” 2024. [Online]. Available: https://www.univision.com/explora/como-se-programan-los-semaforos

[8] La Noticia Web, “Nuevos semáforos con tecnología LED y contador numérico,” 2024. [Online]. Available: https://www.lanoticiaweb.com.ar/nuevos-semaforos-con-tecnologia-led-y-contador-numerico/

[9] Facultad de Ingeniería – Universidad de la República (Uruguay), “Informe sobre semaforización,” 2023. [Online]. Available: https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/cecal/hpc/AECG/Informe.pdf

[10] Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, “Señalización inteligente,” 2024. [Online]. Available: https://buenosaires.gob.ar/movilidad/ordenamientodeltransito/senializacion-inteligente

[11] Escuela Politécnica Nacional (Ecuador), “Informe sobre semáforos inteligentes,” 2023. [Online]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26194/1/CD%2014412.pdf

[12] Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTyS), “Inteligencia artificial: el nuevo agente de tránsito,” 2024. [Online]. Available: https://www.ctys.com.ar/ingenieria-y-arquitectura/inteligencia-artificial-el-nuevo-agente-de-transito/

[13] Internet de las Cosas, “Introducción a IoT,” 2023. [Online]. Available: https://internetdelascosas.xyz/articulo.php?id=2043

[14] Internet de las Cosas, “Tutorial sobre IoT,” 2023. [Online]. Available: https://internetdelascosas.xyz/articulo.php?id=4019&secc=TUTORIAL

[15] Insight Software, “Real-time Data,” 2023. [Online]. Available: https://insightsoftware.com/es/encyclopedia/real-time-data/

[16] Asociación TAEE, “Sensores viales,” 2010. [Online]. Available: https://www.asociaciontaee.org/actas/2010/papers/2010S01A04.pdf

[17] Comunicaciones Inalámbricas Hoy, “Qué es LoRa y LoRaWAN,” 2023. [Online]. Available: https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-es-lora-y-lorawan/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[18] Guía Hardware, "Tecnologías inalámbricas," 2023. [Online]. Available: https://www.guiahardware.es/tecnologias-inalambricas/

[19] Universidad de los Andes, "Repositorio de IA y Machine Learning," 2023. [Online]. Available: https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/4b93ac9b-8e64-4fbe-96ef-612ecff218a1/content

[20] Medium, "A beginner's guide to Q-learning," 2023. [Online]. Available: https://medium.com/@goldengrisha/a-beginners-guide-to-q-learning-understanding-with-a-simple-gridworld-example-2b6736e7e2c9

[21] 3Blue1Brown, "Q-learning explanation video," 2023. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=aircAruvnKk&ab_channel=3Blue1Brown

[22] UCM, "Deep learning and AI research," 2023. [Online]. Available: https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/bb1a8e13-13dd-4707-9658-973fc6a58fb1/content

[23] MDPI, "Technologies journal article," 2023. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2227-7080/10/1/5

[24] SciELO, "Revista RIST – IA y tráfico," 2023. [Online]. Available: https://scielo.pt/pdf/rist/n54/1646-9895-rist-54-69.pdf

[25] Revista Aire Libre, "La inteligencia artificial llegó a los semáforos," 2025. [Online]. Available: https://www.revista-airelibre.com/2025/04/09/la-inteligencia-artificial-llego-a-los-semaforos/

[26] ResearchGate, "Development of a Smart Traffic Control Model Using Deep Learning," 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/373776446_PAPER_178_-DEVELOPMENT_OF_A_SMART_TRAFFIC_CONTROL_MODEL_USING_DEEP_LEARNING_TECHNIQUE

[27] Imnovation Hub, "Semáforos Inteligentes," 2023. [Online]. Available: https://www.imnovation-hub.com/es/sociedad/semaforos-inteligentes/

[28] IIC-UAM, "Machine Learning y Deep Learning," 2023. [Online]. Available: https://www.iic.uam.es/en/artificial-intelligence/machine-learning-deep-learning/

[29] UNESUM, "Propuesta de diseño y modelado de sistema de semáforos inteligentes," 2023. [Online]. Available: https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7315/1/SOLEDISPA%20PARRALES%20JONATHAN%20ALEXANDER.pdf

[30] JETIR, "Proposed Design and Modeling of Smart Traffic Light System using Arduino," 2023. [Online]. Available: https://www.jetir.org/papers/JETIR2204455.pdf

[31] ResearchGate, "Smart Traffic Light System using Arduino," 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/377584938_Proposed_Design_and_Modeling_of_Smart_Traffic_Light_System_using_Arduino

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Conciencia Digital Sanitaria e Historia Clínica Electrónica: Percepciones Estudiantiles en la UNCAUS

**Universidad Nacional del Chaco Austral, Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas**

**Flores Echague, Martin Joaquín**
**Masson, Lucas Maximiliano**

**Abstract**

*En un contexto donde la digitalización y la interoperabilidad de la información es esencial para mejorar la eficiencia, seguridad y personalización de la atención médica, este estudio analiza el nivel de conocimiento y percepción que tienen los estudiantes universitarios de la Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS) respecto al registro, uso y resguardo de sus historias clínicas. La investigación surge en el marco del Proyecto PI 180, orientado al diseño de metodologías para estructurar información no estructurada y detectar patrones de razonamiento en la Unidad Médica Educativa (UME). Los datos se obtuvieron a partir de una encuesta online a 152 estudiantes de diferentes años y carreras presenciales y a distancia. La misma se llevó a cabo durante el período de julio-agosto 2025, y estuvo estructurada en cuatro secciones: Conocimiento General, Percepción de Usos y Riesgos, Actitudes y Valores, y Perfil Sociodemográfico del Alumno, con preguntas cerradas y respuestas predefinidas. Los primeros hallazgos evidencian un gran interés por parte de los alumnos en acceder digitalmente a sus datos, aunque existen vacíos de información sobre derechos y riesgos de mantener la información en forma digital. Este estudio destaca la necesidad de fortalecer la formación en ciudadanía digital sanitaria y de avanzar hacia sistemas interoperables de Historias Clínicas Electrónicas para el diseño de estrategias educativas y prototipos tecnológicos que permitan optimizar el manejo de información clínica en la UME y servir de modelo para otras instituciones de la región.*

**Palabras Clave**
Historia clínica, integración de datos, digitalización, ciudadanía digital sanitaria.

## Introducción

En un contexto donde el avance tecnológico en el ámbito de la salud[1,2] proporciona ventajas estratégicas y diagnósticos diferenciales que ayudan en la detección de patrones de enfermedades [1] [5] [10], la historia clínica electrónica (HCE) representa un paso fundamental hacia una atención médica más eficiente, segura y personalizada. Sin embargo, en numerosas instituciones sanitarias aún se mantiene una fuerte dependencia de registros físicos o sistemas desestructurados, lo que no solo dificulta el acceso oportuno a la información clínica, sino que además limita significativamente las posibilidades de aplicar tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) para el análisis, interpretación y mejora de los procesos médicos.

El trabajo presentado surge como parte de una problemática detectada a partir del Proyecto de Investigación PI 180 titulado "Diseño y Desarrollo de una Metodología para estructurar conocimiento no estructurado y detectar patrones de razonamiento en el dominio de la Unidad Médica Educativa (UME)", que se viene desarrollando en la Universidad Nacional del Chaco Austral. Uno de los principales obstáculos encontrados durante el desarrollo de dicho proyecto fue la falta de HCE. Esta limitación impide estructurar y analizar datos clínicos de manera adecuada, lo que frena el diseño de herramientas avanzadas para el diagnóstico médico, o para el entrenamiento de los futuros profesionales en el ámbito de la salud.

[1] https://statim-healthcare.com/blog/the-impact-of-technology-on-disease-diagnosis/

[2] https://www.istanbuldent.com.tr/digital-health-medicine-the-role-of-technology-in-treatment

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Frente a esta situación, surgió la necesidad de indagar cómo perciben los estudiantes universitarios —futuros profesionales — el registro, uso y resguardo de sus propios datos clínicos. Para ello, diseñamos y difundimos una encuesta a través de Google Forms[3], dirigida específicamente a los estudiantes de la UNCAUS, con el objetivo de conocer su nivel de interés y conciencia digital sanitaria. Entendemos por alfabetización sanitaria, o conciencia digital sanitaria (del inglés health literacy) a "la habilidad para obtener, procesar y entender información básica con respecto a la salud, necesaria para tomar decisiones para el cuidado de la misma" [4]. En la actualidad, el concepto de alfabetización en salud se amplía para incluir el entorno digital como principal fuente de información sobre salud y bienestar, surgiendo así la noción de alfabetización digital en salud, entendida por la OMS como la capacidad de buscar, acceder, comprender, evaluar, validar y aplicar información sanitaria disponible en línea [6]. Esta implica no solo habilidades técnicas para interactuar con dispositivos y recursos digitales —como consultas virtuales, HCE, o aplicaciones de salud—, sino también la capacidad de formular y comunicar dudas, opiniones y sentimientos en estos contextos. De esta manera, lograr caracterizar la alfabetización sanitaria en la UNCAUS, nos permitió recolectar datos sobre las opiniones de los alumnos en torno a la problemática planteada, como punto de partida para avanzar en el proyecto de investigación. Así, este estudio presenta la faceta social del proyecto, que para el futuro pretende procesar datos clínicos de forma automatizada, integrar información entre instituciones y aplicar algoritmos de IA para apoyar la toma de decisiones médicas, detectar anomalías, predecir riesgos y mejorar la continuidad de la atención, sin importar en qué hospital se atienda el paciente o, incluso, en qué servicio se encuentre dentro de la UME.

[3] https://forms.gle/cZGHewqozJk7VNNZ6

El **objetivo general** del estudio fue analizar el nivel de interés de los estudiantes universitarios de la UNCAUS en cuanto a cómo se registran, utilizan y almacenan sus datos clínicos.
Mientras que los objetivos específicos fueron:

- Relevar percepciones sobre el uso de una posible HCE y el derecho al resguardo de datos personales en salud.
- Detectar niveles de indiferencia ante posibles riesgos relacionados al almacenamiento desestructurado de datos.
- Promover la reflexión crítica y la articulación entre ciudadanía digital, salud y sistemas de información.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se presentan los objetivos del estudio y el marco conceptual que contextualiza el problema, incluyendo referencias a la alfabetización digital en salud y la normativa vigente. Luego se describe la metodología empleada y se exponen los resultados obtenidos a partir de la encuesta. Finalmente, se discute la relevancia de promover una ciudadanía digital crítica y se presentan conclusiones y líneas de trabajo futuro en relación con la transformación digital en salud.

**La Unidad Médica Educativa**

La Unidad Médica Educativa (UME) es un centro de atención a la salud ubicado en la ciudad de Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, creado con la finalidad de dar respuestas a la prevención y promoción de la salud de la región chaqueña. La UME tiene capacidad para la realización de estudios tales como Clínica Médica, Cirugía General, Traumatología, Pediatría, Cardiología, Oftalmología, Kinesiología, Ginecología, Nutrición, Psicología, Urología, Odontología y Neurología, además de contar con la Unidad de Cuidados Intensivos y sala de recuperación postquirúrgica breve o estudios complejos. Actualmente, los datos no se encuentran totalmente automatizados en una HC por

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



paciente, por lo que es difícil obtener información de alto valor agregado que sea de soporte a la toma de decisiones.
Disponer de información de este tipo, podría de ser de utilidad no sólo para realizar un mapa de cuáles son las patologías que mayormente afectan a la población que concurre a la UME, sino para tomar decisiones estratégicas con respecto a otros servicios, como puede ser el de farmacia. Los resultados preliminares de la exploración de la situación actual de la organización detectan, entre otros inconvenientes, algunas falencias importantes en la interoperabilidad de instrumentos propios a HCE, que evidencia prioridad y urgencia debido a la necesidad de automatizar los registros existentes y evitar la pérdida de información valiosa.

**La normativa de la HCE en América Latina**

Según un estudio realizado en el año 2022[4], solo 10 de 26 países latinoamericanos cuentan con legislación específica que define y valida la HCE: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, México, Perú y Uruguay, cubriendo aspectos como protección de datos, interoperabilidad, rol de profesionales y del paciente. Otro análisis más amplio [2] señala que 16 de 21 países en América Latina ya cuentan con normativa sobre HCE, siendo Cuba pionera en 1970. Entre los países con regulación reciente (desde 2019) se encuentran Brasil, Colombia, Guatemala y Guayana Francesa.
En cuanto a la normativa específica de nuestro país, [5]la Ley Nacional 27.706 (febrero 2023) crea un Sistema Único de Registro de Historias Clínicas Electrónicas en todo el país, con las siguientes características: documento digital obligatorio, auténtico, inalterable, con marca temporal, individualizado y confidencial. El paciente tiene derecho de acceso, y el Ministerio de Salud establece los estándares técnicos y garantiza interoperabilidad. Por otro lado, la Ley 26.529[6], establece los derechos del paciente, incluyendo normas sobre consentimiento informado y sobre el uso de historias clínicas, también en formato informatizado.

**Metodología**

Para llevar adelante la tarea de recopilar información de las percepciones de los estudiantes respecto de HC se siguieron las siguientes etapas:

1. **Formulación de objetivos:**
   Ya consignados en el apartado Introducción.
2. **Diseño del instrumento de recolección:**
   Se elaboró un cuestionario estructurado mediante la herramienta Google Forms, seleccionada por su facilidad de distribución, su capacidad de registro automático de datos y la posibilidad de garantizar el anonimato de los participantes.
   La encuesta constó de cuatro secciones: Conocimiento General, Percepción de Usos y Riesgos, Actitudes y Valores, y Perfil Sociodemográfico del Alumno, con preguntas cerradas y respuestas predefinidas.
3. **Población y muestreo:**
   El público objetivo estuvo constituido por 152 estudiantes de distintas carreras de la UNCAUS. Se utilizó un muestreo no probabilístico de tipo voluntario, difundiendo el enlace a la encuesta a través de redes sociales, grupos estudiantiles y la Asociación de Estudiantes de la Universidad, lo que permitió la participación abierta a quienes tuvieron interés en responder.
4. **Procedimiento de recolección de datos:**
   La encuesta se mantuvo activa durante un período de 15 días, y fue

[4] https://www.caeme.org.ar/hce-solo-10-paises-de-america-latina-tienen-una-legislacion-que-la-valida
[5]https://www.argentina.gob.ar/justicia/derechofacil/leysimple/salud/historia-clinica-electronica
[6]https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26529-2009-160432

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



accesible en línea para facilitar el acceso desde cualquier dispositivo. Se aseguró el anonimato de las respuestas, con el fin de promover la sinceridad y veracidad en las opiniones.

5. **Análisis de datos**
   La información recolectada se procesó mediante herramientas de análisis descriptivo, calculando frecuencias y porcentajes para cada pregunta. Asimismo, se generaron gráficos automáticos desde Google Forms para facilitar la interpretación de los resultados y asegurar objetividad en la presentación.
6. **Interpretación y aplicación**
   Los resultados obtenidos se interpretaron en función de los objetivos planteados, buscando identificar el grado de conocimiento, interés y preocupación de los estudiantes en torno al registro y uso de sus datos clínicos. Este análisis constituye la base para el diseño de estrategias de concientización y propuestas de mejora.
7. **Consideraciones éticas**
   La participación en la encuesta fue voluntaria, sin requerir datos identificatorios. Se informó a los participantes sobre el carácter anónimo y el uso exclusivamente académico de los datos, respetando así las buenas prácticas éticas en investigaciones sociales.

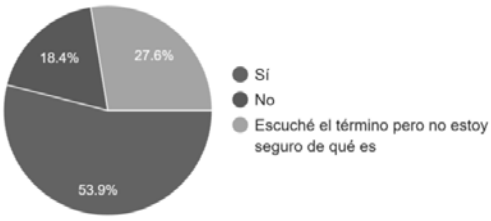
## Resultados

El estudio recogió un total de 152 respuestas de estudiantes. Los resultados se organizaron según los objetivos específicos y revelan tendencias significativas sobre la percepción de los estudiantes respecto a sus datos clínicos.

### 1. Conocimiento y uso de historias clínicas electrónicas:

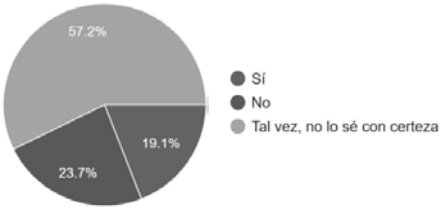
Aproximadamente la mitad de los encuestados identifica correctamente el concepto de HCE. Mientras que un porcentaje significativo (27.6%) lo había escuchado, pero no comprendía su significado (Figura 1).

**Figura 1. ¿Sabes qué es una historia clínica electrónica?**




Respecto al registro digital de sus propias historias, de acuerdo con la Figura 2, la mayoría de los encuestados expresa incertidumbre en cuanto a saber que sus datos están consignados en una HCE, y el menor porcentaje tiene la certeza de que así es.

**Figura 2. ¿Tu historia clínica está registrada en algún sistema digital?**




Conclusión parcial 1: Existe un buen nivel de conocimiento general sobre lo que es la HCE, pero se necesita una mayor difusión sobre el tema.

Conclusión parcial 2: La mayoría de los estudiantes no está seguro si su propia información de salud está digitalizada, lo que estaría reflejando una falta de transparencia o de acceso a esta información por parte de los pacientes.

### 2. Derechos y preocupaciones sobre datos clínicos

La Figura 3 describe que la mayoría de los estudiantes desconoce su derecho a solicitar copias completas de su HC, aunque les

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



interesa profundizar en conocer este derecho (Figura 4). Sobre la preocupación por el almacenamiento de datos, los porcentajes se encuentran distribuidos en forma muy pareja, prevaleciendo un grado de preocupación moderado (37.5%). Y como otro hallazgo significativo, se encuentra que un 27% de los encuestados reportó haber repetido estudios médicos debido a la falta de acceso a resultados previos (Figura 5).

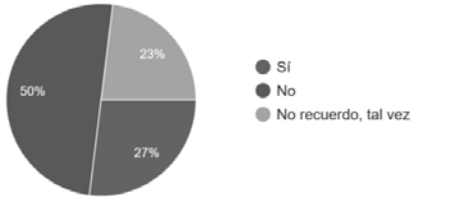
**Figura 3. ¿Sabes que puedes pedir una copia completa de tu historia clínica?**




**Figura 4. ¿Te preocupa cómo y dónde se almacenan tus datos médicos?**




**Figura 5. ¿Alguna vez te pidieron repetir un estudio o análisis que ya habías hecho porque no estaba disponible?**



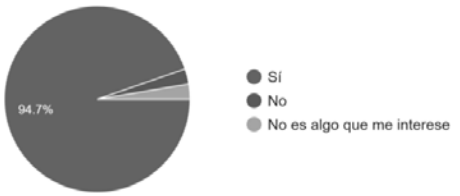

Conclusión parcial 3: Existe un desconocimiento generalizado que pone en evidencia la necesidad de campañas para que los estudiantes puedan ejercer sus derechos sobre los datos clínicos. La repetición de estudios refleja problemas de acceso e interoperabilidad que impactan negativamente en la atención.

### 3. Accesibilidad y responsabilidad sobre datos

Casi la totalidad de los encuestados consideró esencial que los profesionales accedan a su HC completa al cambiar de institución (Figura 6).

Conclusión parcial 4: Para los alumnos es importante la interoperabilidad entre instituciones y la continuidad de la atención en lo que respecta a la HCE. La percepción estudiantil se alinea con la normativa nacional reciente, que plantea la HC como un documento único, digital e inalterable.

**Figura 6. ¿Piensas que, aunque cambies de médico o institución, los profesionales deberían poder ver tu historial completo?**




En relación con la responsabilidad sobre los datos, más de la mitad (53%) entiende un modelo de "responsabilidad compartida", lo que indica que los estudiantes reconocen la necesidad de corresponsabilidad entre pacientes, profesionales y sistema de salud. Mientras que el 28,3% la atribuyó al sistema de salud, lo que refleja una expectativa alta hacia las instituciones sobre el tratamiento de los datos. En contraste, solo una minoría consideró que la responsabilidad recae en los propios pacientes (9,9%) o en los profesionales (8,6%) (Figura 7). Este hallazgo sugiere que los estudiantes confían más en las instituciones que en la autogestión individual de la información clínica.

Finalmente, el 88,2% de los encuestados señaló como "muy importante" que la HC esté organizada y estructurada (Figura 8), lo que refleja un fuerte interés en la transparencia y en la buena gestión de los datos clínicos. Resulta relevante destacar que ningún participante consideró este

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

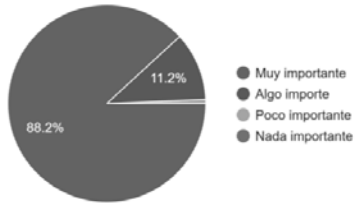


aspecto como "poco importante" y que únicamente un encuestado lo valoró como "algo importante". Este hallazgo refuerza la percepción generalizada de que la organización de la información clínica es un requisito fundamental para la calidad de la atención en salud.

**Figura 7. ¿Quién debe tener la responsabilidad principal sobre tus datos médicos?**




**Figura 8. ¿Qué tan importante te parece contar con una historia clínica organizada y estructurada?**




Conclusión parcial 5: Los estudiantes valoran fuertemente la interoperabilidad y el acceso digital a la HCE, lo que indica una demanda clara hacia nuevos sistemas digitales médicos que sean accesibles y confiables.

## 4. Diferencias por perfil académico

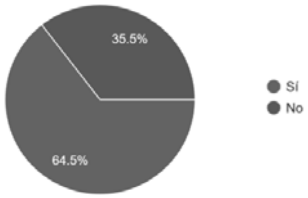
Las percepciones variaron según la carrera. En Medicina, el 72% de los estudiantes conocía el concepto de HCE, mientras que en otras disciplinas el porcentaje rondó el 50%. En Ingeniería en Sistemas, el 78% manifestó una alta preocupación por la seguridad de los datos, valor similar al observado en las carreras administrativas (70%). En estas últimas también predominó la visión de que la responsabilidad sobre los datos recae principalmente en el sistema de salud (42%). Estos resultados fueron obtenidos a partir del procesamiento estadístico de la encuesta mediante un script en Python[7] lo cual permitió organizar y comparar las percepciones según la formación académica.

Conclusión parcial 6: Las percepciones varían de acuerdo con la disciplina: los estudiantes de Medicina priorizan lo conceptual, los de Ingeniería en Sistemas de Información lo técnico, y los de carreras Administrativas la responsabilidad institucional. La formación académica influye en cómo se entiende la digitalización sanitaria.

## 5. Otras correlaciones relevantes

Como se aprecia en la Figura 9, los estudiantes que requirieron atención médica reciente (64,5%) mostraron mayor probabilidad de preocupación por almacenamiento de datos y más conocimiento de sus derechos que quienes no requirieron atención.

**Figura 9. ¿Requeriste atención médica en el último año?**




Conclusión parcial 7: La experiencia reciente en el sistema de salud incrementa la conciencia sobre la importancia de la protección y seguridad de los datos como el interés en conocer los derechos correspondientes a la HCE.
Conclusión General: a los alumnos de la UNCAUS les interesa poder contar con un único registro de sus antecedentes sanitarios. Comprenden la importancia de implementar este tipo de sistemas, pero requieren conocer en más detalle la normativa vigente al respecto, los riesgos y las ventajas de contar con un sistema único

[7] https://drive.google.com/file/d/1e1nxfjzK5GNh-XbdtGSeTi6GI5xE_Nme/view?usp=drive_link

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de HCE. Asimismo, sería interesante generar espacios en los que se puedan difundir los resultados de contar con una HC única en América Latina, a fin de concientizar sobre su importancia.

**Trabajo Relacionado**

Para Alegre et al. [2], desde principios del siglo XXI, América Latina ha avanzado notablemente en materia de regulación de herramientas digitales en salud, particularmente en la HCE y la telesalud. Según el estudio, 16 de 21 países de la región ya cuentan con normativa vigente sobre HCE, mientras que 19 poseen legislación relacionada con la telesalud. Aunque todos los países salvaguardan la confidencialidad y el secreto profesional en el sistema de salud tradicional, estas garantías están explícitamente mencionadas en contextos digitales con menor frecuencia: solo 9 países incluyen referencias específicas para la HCE, y 11 lo hacen en el marco de la telesalud. Estos datos revelan un creciente interés por regular la salud digital, pero también exponen una necesidad urgente de fortalecer los aspectos éticos que garanticen la privacidad y la protección efectiva de los datos personales en plataformas tecnológicas sanitarias.

En un trabajo menos generalista, Nelson et al. [7], destacan que los sistemas de HCE son herramientas clave para fortalecer los sistemas de salud en América Latina y el Caribe, aunque su adopción masiva aún es limitada en la región. En este trabajo, los autores detallan el potencial de estos sistemas para mejorar la eficiencia y calidad de la atención; ofrecen definiciones operativas y se describen las funcionalidades esenciales que debería tener una HCE, revisan la evidencia disponible sobre los impactos de estas plataformas, destacando beneficios en la coordinación clínica y la toma de decisiones informadas, y abordan los principales desafíos para su implementación, tales como las barreras técnicas, económicas, organizativas y la falta de capacidades en gobernanza digital.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El presente estudio evidenció que, aunque una parte significativa de los estudiantes universitarios de la UNCAUS reconoce la importancia de la historia clínica electrónica (HCE), persiste un desconocimiento relevante sobre su existencia, funcionamiento y derechos asociados, así como una falta de certeza respecto a la digitalización de sus propios registros médicos. Este hallazgo confirma que la ausencia de una infraestructura de datos clínicos estandarizados y accesibles no solo limita la implementación de tecnologías de inteligencia artificial, sino que también restringe la participación informada de los futuros profesionales de la salud en la transformación digital del sector.

Entre las limitaciones del trabajo se encuentra el uso de un muestreo no probabilístico voluntario, que, si bien permitió obtener un panorama inicial, no asegura representatividad total de la población estudiantil. Asimismo, el alcance del estudio estuvo centrado en percepciones y autoinformes, sin contrastar directamente con el estado real de digitalización en las instituciones de salud vinculadas.

En comparación con estudios previos sobre IA en medicina, como los revisados por Schouten et al. (2025) [8] y Buess et al. (2025) [3], nuestro aporte radica en visibilizar la etapa previa y crítica para la implementación de estas tecnologías: la concientización y formación de la comunidad académica sobre la importancia de datos clínicos estructurados e interoperables. A diferencia de trabajos orientados exclusivamente a capacidades técnicas, este estudio se enfoca en el componente sociocultural y educativo que condiciona la adopción efectiva de la IA en el ámbito sanitario.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Como líneas futuras de trabajo, se propone:

1. Implementar talleres y jornadas de capacitación en ciudadanía digital sanitaria [9], evaluando su impacto en el conocimiento y las actitudes hacia la HCE.
2. Diseñar e integrar un prototipo funcional de historia clínica electrónica interoperable para la Unidad Médica Educativa, que sirva de base para aplicaciones de IA en diagnóstico y apoyo a la decisión clínica.
3. Desarrollar estudios comparativos que analicen el cambio en la percepción y uso de la HCE tras intervenciones educativas y tecnológicas concretas.

Superar las limitaciones identificadas permitirá no solo fortalecer la infraestructura de datos de la UME, sino también sentar las bases para que las innovaciones en inteligencia artificial puedan aplicarse de manera efectiva, ética y centrada en el paciente, alineándose con las tendencias y desafíos actuales en la medicina digital.

**Referencias**

1. Ahmed, M. M., Okesanya, O. J., Olaleke, N. O., Adigun, O. A., Adebayo, U. O., Oso, T. A., ... & Lucero-Prisno III, D. E. (2025, May). Integrating Digital Health Innovations to Achieve Universal Health Coverage: Promoting Health Outcomes and Quality Through Global Public Health Equity. Healthcare, 13(9), 1060. MDPI.

2. Alegre, V., Álvarez, M. Y., Bianchini, A., Buedo, P., Campi, N., Cristina, M., ... & Luna, F. (2024). Salud digital en América Latina: legislación actual y aspectos éticos. Revista Panamericana de Salud Pública, 48, e40.

3. Buess, L., Keicher, M., Navab, N., Maier, A., & Arasteh, S. T. (2025). From large language models to multimodal AI: A scoping review on the potential of generative AI in medicine. arXiv preprint arXiv:2502.09242.

4. Carton Erlandsson, L., Martín Duce, A., De los Reyes Gragera Martínez, R., Sanz Guijo, M., Muriel García, A., Mirón González, R., & Gigante Pérez, C. (2024). Uso de redes sociales como fuente de información sobre salud y alfabetización digital en salud en población general española. Revista española de salud pública, 98.

5. Kasoju, N., Remya, N. S., Sasi, R., Sujesh, S., Soman, B., Kesavadas, C., ... & Behari, S. (2023). Digital health: trends, opportunities and challenges in medical devices, pharma and bio-technology. CSI Transactions on ICT, 11(1), 11-30.

6. Konfino, J., Mejia, R., Majdalini, M. P., & Pérez Stable, E. J. (2009). Alfabetización en salud en pacientes que asisten a un hospital universitario. Medicina (B Aires), 69, 631-634. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/pdf/medba/v69n6/v69n6a07.pdf

7. Nelson, J., Cafagna, G., & Tejerina, L. (2020). Electronic health record systems: Definitions, evidence, and practical recommendations for Latin America and the Caribbean.

8. Schouten, D., Nicoletti, G., Dille, B., Chia, C., Vendittelli, P., Schuurmans, M., & Khalili, N. (2025). Navigating the landscape of multimodal AI in medicine: a scoping review on technical challenges and clinical applications. Medical Image Analysis, 103621.

9. Shaw, K., Henning, M. A., & Webster, C. S. (2025). Artificial intelligence in medical education: a scoping review of the evidence for efficacy and future directions. Medical Science Educator, 1–14.

10. Stremmel, C., & Breitschwerdt, R. (2023). Digital transformation in the diagnostics and therapy of cardiovascular diseases: comprehensive literature review. JMIR Cardio, 7(1), e44983.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Mejora de Consistencia en Matrices AHP, un Análisis sobre Matrices Aleatorias.

**Francisco Rodrigo Salinas.**

**Carlos Humberto Salgado (Tutor) – Mario Gabriel Peralta (Tutor)**

**Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico, Matemática y Naturales.**

**Abstract.**
*Los métodos de decisión multiatributo como AHP, LSP o TOPSIS, son modelos matemáticos y lógicos diseñados para ayudar a la toma de decisiones racionales y bien justificadas considerando varios criterios en conflicto. Su utilidad está puesta de manifiesto para problemas bien definidos con un número manejable de alternativas y criterios. Situaciones donde la justificación y la transparencia del proceso de decisión son cruciales o cuando se necesita incorporar el juicio humano y las preferencias subjetivas de manera explícita y estructurada. A pesar del avance de la IA, los métodos multiatributo no pierden su relevancia, ya que proporcionan el marco conceptual y la lógica que la IA a menudo carece. En el contexto de AHP, uno de los aspectos claves es la relación de consistencia de una matriz, la misma nos da una idea de la congruencia de las comparaciones por pares que componen a la matriz y nos permite determinar si es necesario modificarla. En este documento se explorará un método de corrección de matrices inconsistente iterativo, así como también se aportará una función heurística basada en matrices aleatorias para determinar el mínimo número de entradas a modificar, y se darán medidas estadísticas para determinar la aptitud de las funciones heurísticas. Para alcanzar los objetivos planteados se implementó un modelo de generación de matrices aleatorias y análisis de los datos obtenidos basado en el método Montecarlo; la generación de matrices y obtención de datos fue desarrollada en Java, mientras que el análisis de los mismos fue realizado en Google Colab.*

**Palabras clave.**
Método de decisión AHP, corrección de inconsistencia, métodos multiatributos, análisis estadístico, funciones heurísticas.

## Introducción.

Los métodos de decisión multiatributo (MCDM por las siglas en inglés de Multi Criteria Decision Making) son un conjunto de técnicas utilizadas para evaluar diversas alternativas, donde se deben tener en cuenta una variada cantidad de criterios. Dentro del amplio mundo de los MCDM, AHP [1] se posiciona como uno de los métodos más utilizados (David Ruiz Bargueño, et al, 2021) [2] el mismo genera una jerarquía de criterios, donde cada uno de ellos posee una matriz de comparación de a pares, en la misma se pondera la importancia de cada subcriterio en base a otro, las entradas de las matrices son números positivos 1,2,3…ℜ con la particularidad de que:

$a_{ij} = x \Leftrightarrow a_{ji} = \frac{1}{x}\ \forall i, j 1,2\ldots n,\ i \neq j$ y que $a_{ii} = n.$

Si bien en principio se puede utilizar cualquier escala positiva que cumpla estas condiciones, en la mayoría de los casos se utiliza la "escala Saaty"(ver figura 1), denominada así en honor al creador del método, esta escala tiene fundamentos psicológicos para su uso.

Una vez que las matrices son completadas se calcula el peso local de cada subcriterio (peso del subcriterio en base a los otros subcriterios del criterio padre) y se repite este proceso para todos los criterios. A continuación se calculan los pesos globales de los criterios hoja (criterios sin subcriterios).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| VALOR | DEFINICIÓN | COMENTARIOS |
|---|---|---|
| 1 | Igual importancia | El criterio A es igual de importante que el criterio B |
| 3 | Importancia moderada | La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B |
| 5 | Importancia grande | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B |
| 7 | Importancia muy grande | El criterio A es mucho más importante que el B |
| 9 | Importancia extrema | La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda |
| 2,4,6 y 8 | Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar | |

Figura 1: Escala Fundamental de Saaty.

Luego se construye una matriz de comparación para cada criterio hoja donde se comparan las distintas alternativas. Finalmente, se forma una matriz de decisión utilizando los pesos de las matrices donde se comparan alternativas y los pesos globales de los criterios hoja. Cabe aclarar que todas las matrices del método AHP, con la salvedad de la matriz de decisión, son matrices cuadradas.

A lo largo de todo este proceso, surge el concepto de relación de consistencia, esta es una medida que evidencia qué tan congruentes son las comparaciones de pares descritas en las matrices. En el método AHP, se entiende que los tomadores de decisiones son humanos, y que, al serlo, sus evaluaciones pueden ser subjetivas y no perfectamente congruentes, por lo que un cierto grado de inconsistencia es permitido (y esperado).

El máximo grado de inconsistencia que se permite es una relación de consistencia de 0.1. Sin embargo, es probable que el tomador de decisión construya una matriz con una relación de consistencia mayor a la tolerable, en estos casos, surge la necesidad de contar con métodos para reducir la inconsistencia a niveles aceptables. Una característica deseable de dichos métodos es la de modificar lo menos posible la matriz creada por el tomador de decisiones, ya que se entiende que, aunque en algunos casos sea demasiado inconsistente, el mismo tuvo sus motivos para generar dicha matriz.

Existen diversos métodos para la corrección de matrices inconsistentes, como el presentado en Dadkhah, Zahedi (1993) [3], sin embargo, estos métodos suelen involucrar una alta complejidad matemática para su resolución.

En este trabajo se pretende mostrar un método de corrección de matrices de complejidad matemática baja que impacte en la menor cantidad de entradas posibles. Para ello, se deberá realizar un análisis estadístico sobre matrices cuadradas aleatorias de orden (Ord) entre 3 y 20 para encontrar preliminarmente un conjunto de funciones heurísticas que determinen la mínima cantidad de entradas a modificar y luego comprobar que dichas funciones no corrijan más entradas de las necesarias.

Dicho método se desarrolla en el marco del Proyecto Integrador Final de la carrera Ingeniería en Informática, dentro del proyecto de investigación de Ingeniería de Software del Departamento de Informática, de la FCFMyN de la UNSL.

**Método de Corrección de Inconsistencias.**

En Salomon, Gomes (2024) [4] se propone una forma de identificar las entradas de una matriz que contribuyen de mayor manera a la inconsistencia de la misma. El método consiste en calcular un valor $\Psi_{ij}\ \forall i,j = 1,2\ldots n \wedge j > i$ donde $\Psi_{ij} =$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$|a_{ij} - \gamma_{ij}|$

$$\gamma_{ij} \frac{\sum_{k=1}^{n} aik * akj}{n-2}, k \neq j \neq i$$

y $n$ es igual al orden de la matriz.

Luego se sugiere reemplazar las entradas que estén dentro de un rango de un promedio +/- un tercio por la desviación estándar de los valores de $\Psi$ por $w_i/w_j$ (donde $w_i$ es igual al peso de la fila i y, análogamente $w_j$ es el peso de la fila j), así como también modificar su entrada recíproca por el valor recíproco. A su vez, en Gomes (1992) [5] se expone que a mayor valor $\Psi$, mayor es la contribución de dicha entrada a la inconsistencia de la matriz, por lo que se deberían reemplazar los valores que posean un mayor valor de $\Psi$

En este trabajo, acorde con lo expuesto previamente, se analizará este método presentando dos casos, en el primero se irá variando un factor multiplicativo asociado a la desviación estándar, mientras que en el segundo se reemplazaran iterativamente las entradas con mayor valor $\Psi$ hasta que la matriz sea lo suficientemente consistente. Para ambos casos previamente mencionados, se estudiará cómo el valor de la relación de consistencia, así como también el orden de la matriz, afectan a la cantidad de entradas a modificar.

En la siguiente sección, presentamos el modelo de generación de matrices propuesto.

**Modelo de Generación de Matrices y Obtención de Datos.**

Para realizar el análisis sobre el método presentado, se optó por desarrollar un modelo estocástico basado en el método montecarlo [6] que genera matrices AHP inconsistentes y recaba los datos necesarios para luego procesarlos. La generación y recabación de datos fue realizada en Java [7]. Se eligió este lenguaje por su orientación a objetos, polimorfismo, performance y conocimiento previo.

Para la generación de matrices se utilizaron números pseudoaleatorios para asignar valores aleatorios a las entradas de las mismas. Una vez que se genera una matriz se verifica su consistencia, si la misma es menor a 0.1 se la descarta y se genera una nueva, si la relación de consistencia es mayor a 0.1 se la procesa para obtener los datos.

Durante el procesamiento se corrige la consistencia de la matriz utilizando el método expuesto, una vez que la matriz es lo suficientemente consistente se recaba la información necesaria (Relación de consistencia de la matriz original, número de entradas modificadas, orden de la matriz, etc.) y se almacena en una estructura de datos. Luego se repite el proceso para un número dado de matrices y para un intervalo de órdenes de matrices, finalmente se generan archivos con formato .csv con todos los datos recabados para posteriormente procesarlo.

La elección de un lenguaje que soporta polimorfismo y orientación a objetos permite generar distintas clases con la misma interfaz, esto habilita la posibilidad de generar distintos casos de estudios y recabar datos diferentes de las matrices sin necesidad de modificar la estructura general del modelo, a su vez, la performance del lenguaje permite generar y procesar un gran volumen de matrices en un periodo de tiempo aceptable y el conocimiento previo sobre el mismo acelera el desarrollo.

Para el procesamiento de los datos se optó por utilizar Python [8] dentro de la plataforma online Google Colab [9]. La justificación de esta decisión se encuentra en las amplias bibliotecas del lenguaje para manejar grandes volúmenes de datos como Numpy [10], Matplotlib [11] y Pandas [12], las mismas proveen distintas herramientas,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



como graficación de nubes de puntos, cálculos estadísticos y regresiones lineales de manera altamente amigable y en muy pocas líneas de código.

Google Colab permite ejecutar código Python de manera remota utilizando servidores de Google, además ofrece entornos con grandes cantidades de bibliotecas previamente instaladas y ayudas a la codificación como la IA Gemini dentro de la misma plataforma.

**Análisis Sobre los Casos.**

Se utilizó el modelo presentado para analizar los dos casos expuestos previamente, en ambos casos se generaron matrices aleatorias con $3 \leq Ord \leq 20$. Se omite estudiar matrices con $Ord \leq 2$ ya que por el modo en que las mismas son construidas, siempre resultan en matrices consistentes.

En el primer caso a analizar, tanto la relación de consistencia como el orden de la matriz, no parecieron mostrar una relación significativa con la cantidad de entradas a modificar, la figura 2 muestra la relación de consistencia frente al factor multiplicativo asociado a la desviación estándar, mientras que la figura 3 muestra el orden de la matriz frente al mismo factor.

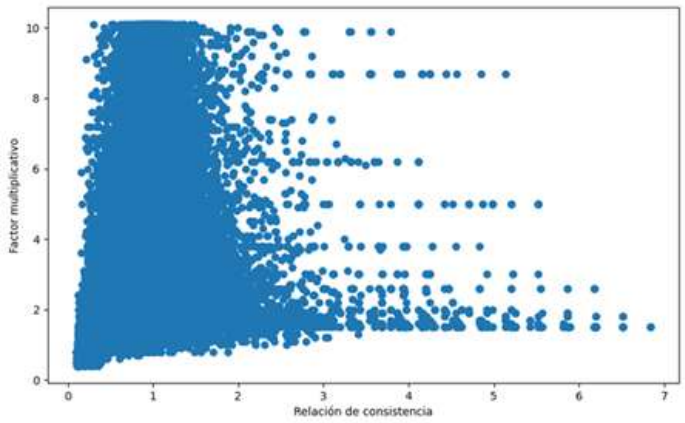



Figura 2: Relación de consistencia frente al factor multiplicativo.

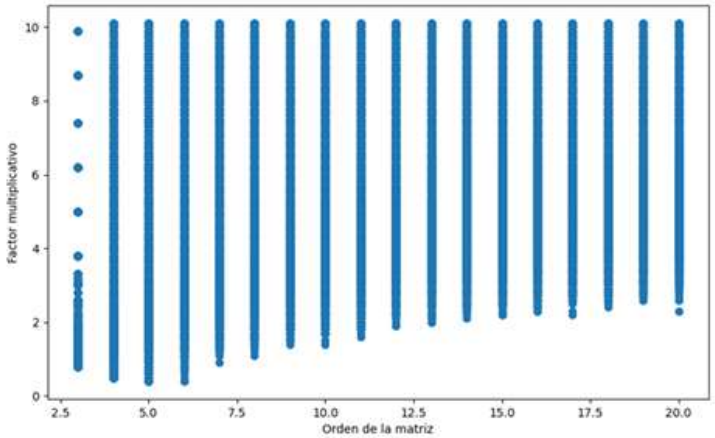



Figura 3 Orden de la matriz frente al factor multiplicativo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para el segundo caso a analizar, se encontró que, para una matriz de un cierto orden, existe una correspondencia entre la relación de consistencia y el porcentaje de entradas a modificar, que se vuelve más evidente a medida que el orden de la matriz aumenta, a su vez, existe una relación entre el orden de la matriz y el número de entradas a modificar.

La correspondencia entre la relación de consistencia y el porcentaje de entradas parece ser de naturaleza lineal, mientras que la relación del orden y el número de entradas parece ser cuadrática, esta observación posee sentido cuando se considera que el número de entradas de una matriz crece cuadráticamente con el orden de la misma. Las figuras 4 y 5 muestran estas relaciones.

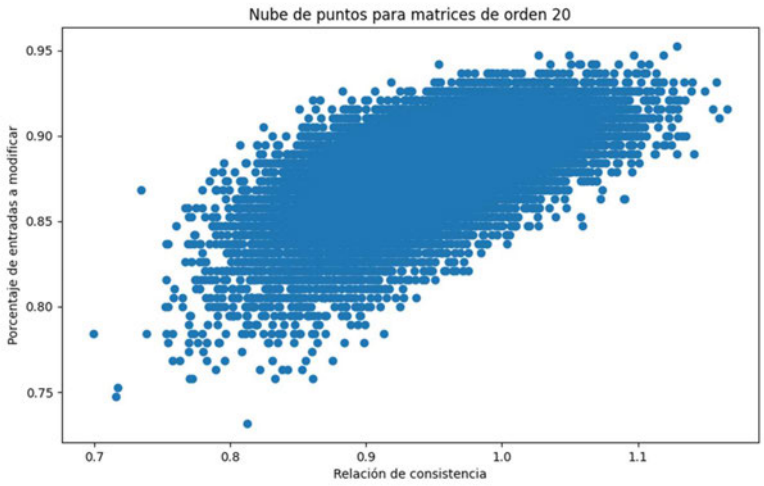



Figura 4: Relación de consistencia frente al porcentaje de entradas a modificar para matrices de orden 20.

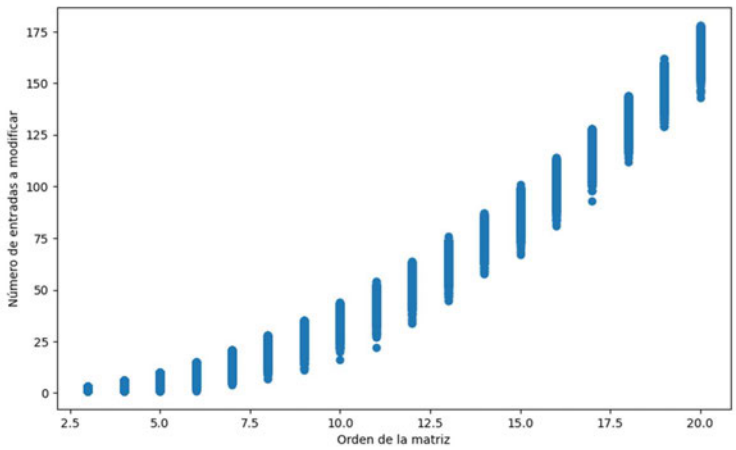



Figura 5: Orden de la matriz frente a el número de entradas a modificar.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Obtención de Funciones Heurísticas y Análisis Estadístico.**

Debido a la naturaleza iterativa del método presentado es de interés encontrar una función heurística que nos permita determinar el número mínimo de entradas a modificar, evitando así recalcular la consistencia de la matriz en cada paso. En base a los datos previamente expuestos, se optó por construir una familia de funciones lineales de la forma $m * cr + b$, donde $m$ es la pendiente, $cr$ la relación de consistencia y $b$ la ordenada al origen, las mismas permiten calcular el porcentaje de entradas a modificar para una matriz de un orden dado.

Para la obtención de dichas funciones se tomó una muestra de 25000 matrices generadas aleatoriamente para cada orden de matriz. Estas matrices fueron generadas aplicando el modelo de generación de matrices aleatorias y análisis de los datos obtenidos basado en el método Montecarlo propuesto; la generación de matrices y obtención de datos se realizó Para cada matriz se calculó el porcentaje de entradas modificables a modificar (aquellas que no pertenecen a la diagonal de la matriz, ya que las mismas representan la relación de un criterio con el mismo, y por lo tanto, no tiene sentido tenerlas en cuenta): $\frac{entradas\ a\ modificar}{n*(n-1)}$, y se dividió el porcentaje de entradas por la relación de consistencia de dicha matriz, guiándonos por este cociente se tomaron las matrices que pertenecían al 20% "inferior" de la nube de puntos, luego se aplicó una transformación para bajar estos puntos y se aplicó una regresión lineal sobre los mismos.

Las funciones lineales resultantes de este análisis logran el resultado esperado para las matrices con $4 \leq Ord \leq 20$ y muestran un coeficiente de $R^2 \geq 0.6$, en el caso de las matrices con $Ord = 3$ la variabilidad de las mismas es demasiado grande para que las funciones generadas puedan aproximarse correctamente, además las mismas presentan un coeficiente de variabilidad $R^2 < 0.4$. La figura 6 muestra un ejemplo de una función con su respectiva nube de puntos, mientras que la tabla 1 muestra la familia de funciones generada.

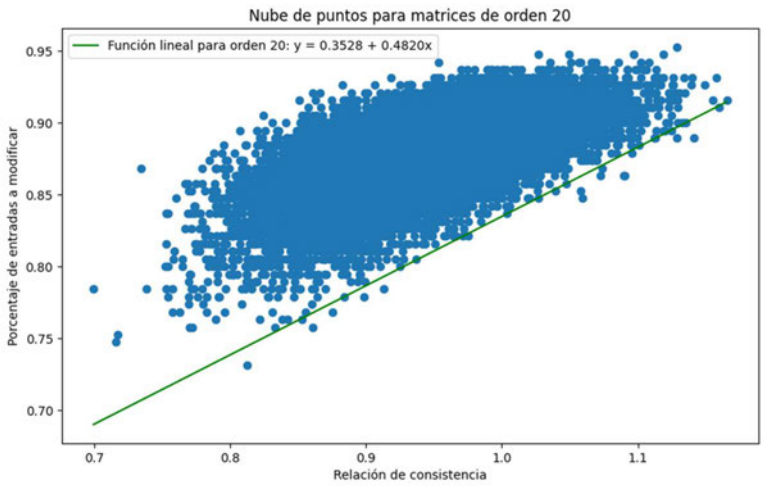



Figura 6: Función heurística para matrices de orden 20 junto con la nube de puntos generada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Orden | Pendiente | Ordenada al origen |
|---|---|---|
| 4 | 0.2197 | 0.0725 |
| 5 | 0.3335 | 0.0151 |
| 6 | 0.4116 | 0.0139 |
| 7 | 0.4722 | 0.0270 |
| 8 | 0.5169 | 0.0396 |
| 9 | 0.5580 | 0.0502 |
| 10 | 0.5882 | 0.0600 |
| 11 | 0.5965 | 0.0878 |
| 12 | 0.5983 | 0.1146 |
| 13 | 0.5981 | 0.1405 |
| 14 | 0.6151 | 0.1452 |
| 15 | 0.5825 | 0.1953 |
| 16 | 0.5546 | 0.2375 |
| 17 | 0.5504 | 0.2546 |
| 18 | 0.5161 | 0.3002 |
| 19 | 0.5078 | 0.3176 |
| 20 | 0.4820 | 0.3528 |

Tabla 1: Familia de funciones heurística

**Análisis de Desempeño de las Funciones Heurísticas.**

Al realizar un análisis estadístico sobre la familia de funciones heurísticas donde se generaron 500 matrices de manera aleatoria utilizando el programa previamente mencionado, para matrices con $4 \leq Ord \leq 20$, se obtuvo como resultado que las funciones obtenidas sólo predicen una sobrecorrección en promedio de 0.0002% más entradas de las necesarias y solo predicen una sobrecorrección en el 0.6% de los casos, por lo que se puede concluir que la familia de funciones cumple con el objetivo deseado de proveer la cantidad mínima de entradas a corregir para cada orden de matriz.

**Conclusión y Trabajos Futuros.**

El método de decisión multiatributo AHP continúa siendo una gran herramienta para aquellas personas que necesitan tomar decisiones complejas, dentro de este contexto es de vital importancia contar con un método de corrección de matrices inconsistentes. En este escrito se ha presentado un método matemáticamente simple para la corrección de matrices AHP inconsistentes, así como también se ha creado una familia de funciones heurísticas en base a matrices generadas aleatoriamente para asistir en el uso del método presentado y se ha analizado el desempeño de las mismas con matrices aleatorias, obteniendo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



resultados altamente satisfactorios. Es destacable mencionar que, si bien las funciones heurísticas cumplen su cometido con matrices aleatorias, un punto a resaltar y aprovechar en la utilización de este método de evaluación multiatributo, es necesario aplicarlo a una situación real o un dominio real de negocio. Cabe mencionar que como continuación del trabajo se está explorando la posibilidad de colaborar con una empresa consultora con base en Vietnam para repetir el análisis realizado con matrices inconsistentes provenientes de entornos reales.

**Agradecimientos.**
Le agradezco a mi familia por siempre apoyarme y a Mg. Carlos Salgado y Esp. Mario Peralta, Director y Codirector respectivamente de mi trabajo integrador final por tantas consultas y ayudas dadas, incluso muy fuera de horario y a los doctores Valerio Salomon y Luiz Gomes por la ayuda prestada.

**Referencias.**

[1] Esteban A Nantes, El Método Analytic Hierarchy Process Para la Toma de Decisiones. Repaso de la Metodología y Aplicaciones,Investigacion Operativa, 2019, https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/download/26474/28219/78112.
[2] Ruiz Bargueño, D.; Salomón, V.A.P.; Marins, F.A.S.; Palominos, P.; Marrone, L.A. State of the Art Review on the Analytic Hierarchy Process and Urban Mobility. Mathematics 2021, 9, 3179,https://doi.org/10.3390/math9243179.
[3] Kamran M. Dadkhah, Fatemeh Zahedi, A mathematical treatment of inconsistency in the analytic hierarchy process, Mathematical and Computer Modelling, Volume 17, Issues 4–5,1993,https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90180-7.
[4] Salomon, V.A.P.; Gomes, L.F.A.M. Consistency Improvement in the Analytic Hierarchy Process,doi.org/10.3390/math12060828.
[5] Gomes L.F.A.M. Reducing Inconsistency in Pairwise Comparison Matrices,SAMS, Vol 9,1992
[6] ¿Qué es la Simulación Montecarlo? IBM
[7] Sitio oficial de Java https://www.java.com/en/
[8] Sitio oficial de Python https://www.python.org/
[9] Sitio oficial de Google Colab https://colab.google/
[10] Sitio oficial de Numpy : https://numpy.org/
[11] Sitio oficial de Pandas: https://pandas.pydata.org/
[12] Sitio oficial de Matplotlib: https://matplotlib.org/

**Datos de contacto:**
*Francisco Rodrigo Salinas, francruy@gmail.com, Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales*
*Mg Carlos Humberto Salgado, csalgado@email.unsl.edu.ar, Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales*
*Esp Mario Gabriel Peralta, mperalta@email.unsl.edu.ar Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Microsoft Presidio: una herramienta de código abierto para detección y anonimización de información sensible

**Alaniz, Verónica; Lamas, Marcos Facundo**
*(ing.sistem.veroalaniz@gmail.com; mf.lamas.07@gmail.com)*

*GISSIC - Grupo de Investigación en Seguridad de Sistemas de Información y Ciberseguridad. / Laboratorio de Sistemas / Dpto. de Ingeniería en Sistemas / Universidad Tecnológica Nacional / Facultad Regional Córdoba*
*Av. Cruz Roja S/N, 5016*

**Abstract**
*En el contexto actual de crecimiento exponencial de los datos, garantizar la protección de la información personal identificable (PII) se ha convertido en una prioridad para organizaciones de todo tipo. Microsoft Presidio es una herramienta de código abierto diseñada para detectar y anonimizar automáticamente datos sensibles en texto, imágenes y otros formatos. Este trabajo presenta una exploración técnica de sus componentes principales, su flujo de trabajo, posibles casos de uso y limitaciones actuales, con el objetivo de evaluar su aplicabilidad en entornos reales que requieren privacidad y cumplimiento normativo. El estudio de esta herramienta está inserta dentro del proyecto "Desarrollo de un modelo de IA para detección de Personal Identifiable Information (PII) bajo el código COSIEC611.*

**Palabras Clave**
Presidio, Datos Personales, PII, Anonimización, NER, privacidad automatizada, Docker.

## Introducción

La protección de los datos personales se ha transformado en un eje central de las políticas de privacidad y ciberseguridad a nivel internacional. La información personal identificable (PII, por sus siglas en inglés) incluye cualquier dato que pueda ser usado para identificar directa o indirectamente a una persona, como nombres, correos electrónicos, direcciones, números de documentos o de tarjetas.

En los últimos años, la preocupación por la protección de los datos personales ha crecido de forma significativa, tanto en el ámbito académico como industrial. La gran cantidad de información que circula en sistemas digitales, sumado al avance de tecnologías como la inteligencia artificial y el procesamiento de lenguaje natural (PNL o NLP, por sus siglas en inglés), ha generado nuevos desafíos en torno a la privacidad.

A nivel internacional, en Estados Unidos la ley California Consumer Privacy Act (CCPA) protege los derechos de los consumidores en relación a la recopilación y el uso de su información personal. [3]

La Unión Europea establece regulaciones estrictas bajo el Reglamento General de Protección de Datos(GDPR). [4]

En Argentina, la Ley 25.326 de Protección de los Datos Personales regula el tratamiento de datos personales y exigen a las organizaciones garantizar la privacidad, confidencialidad y seguridad de los datos que recolectan. [5]

En este contexto, el desarrollo de herramientas que automaticen la detección y protección de este tipo de datos resulta no sólo útil, sino necesario.

Microsoft Presidio surge como una herramienta de código abierto orientada a la detección y anonimización automática de datos sensibles [1][2]. Su diseño modular y su integración con tecnologías como spaCy [6] y OCR[7][8][9], permiten aplicarlo en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



múltiples escenarios: desde el análisis de logs, hasta el anonimizado de documentos o imágenes con información personal.

Sin embargo, su implementación no está exenta de desafíos: la adaptación a idiomas distintos al inglés, la configuración técnica de los reconocedores personalizados y el consumo de recursos pueden convertirse en barreras para su uso efectivo.

Este trabajo tiene como objetivo analizar de forma crítica el funcionamiento de Microsoft Presidio [1][2], identificando sus principales características, casos de uso y limitaciones. Asimismo, se busca valorar su aplicabilidad real en entornos que requieren cumplir normativas de privacidad. El documento se organiza del siguiente modo: la sección 1 describe la arquitectura general de la herramienta y sus principales componentes; la sección 2 detalla el flujo de trabajo típico y su aplicación práctica; en la sección 3 se analizan trabajos relacionados que abordan desafíos similares; la sección 4 expone los desafíos técnicos y las consideraciones éticas en torno al uso de la herramienta; la sección 5 explora posibilidades de integración con otros sistemas o marcos de trabajo; y finalmente, la sección 6 presenta las conclusiones generales y las líneas de trabajo futuro.

**Arquitectura y componentes de Microsoft Presidio**

Para abordar el problema de detección y anonimización de datos sensibles de forma automatizada, Microsoft desarrolló Presidio como una herramienta de código abierto, altamente modular y extensible [1][2]. La arquitectura de Presidio permite separar las tareas de análisis, anonimización y procesamiento de imágenes en servicios independientes que pueden integrarse según las necesidades de cada caso.

Los componentes principales que conforman la herramienta son:

1- Presidio Analyzer: Servicio encargado de identificar información sensible dentro de un texto. Utiliza un enfoque híbrido basado en técnicas de reconocimiento de entidades nombradas (NER), expresiones regulares y validaciones contextuales. Internamente, puede funcionar con modelos NLP, como spaCy [6], o transformadores entrenados previamente.

2- Presidio anonymizer: Componente responsable de aplicar las transformaciones sobre texto detectado. Permite reemplazar, eliminar, ofuscar o redirigir datos según políticas de privacidad definidas por el usuario.

3- Presidio Image Redactor: Servicio que realiza detección de texto en imágenes mediante OCR (Optical Character Recognition) [7][8][9] y aplica técnicas de redacción visual sobre las entidades identificadas.

Los tres servicios pueden ejecutarse de forma independiente a través de contenedores Docker [10] y exponen APIs REST, lo que facilita su integración en entornos automatizados y pipelines de procesamiento de datos.

**Flujo de trabajo típico y aplicación práctica**

El presente trabajo se realizó mediante la instalación e implementación de servicios oficiales de Microsoft Presidio utilizando contenedores Docker [10] en un entorno local. Se utilizaron las imágenes disponibles en el repositorio oficial de GitHub, complementadas con pruebas funcionales mediante solicitudes HTTP con herramientas como curl o Postman [11][12] [13].

Las actividades realizadas fueron las siguientes:

1- Análisis de texto: Se envían datos crudos (como nombre, teléfonos o correos electrónicos) al servicio de presidio-analyzer, que devuelve las entidades detectadas junto con su tipo, posición y nivel de confianza.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



2- Anonimización: Los resultados se envían como entrada al componente presidio-anonymizer, que transforma los valores identificados aplicando una acción específica (por ejemplo, reemplazo por etiquetas, ofuscación o eliminación).

3-Procesamiento de imágenes (opcional): En pruebas paralelas se usó presidio-image-redactor para procesar capturas de pantalla o formularios digitalizados que contenían datos sensibles. El OCR[7],[8],[9] detecta el texto y luego lo redacta gráficamente.

**Flujo de trabajo técnico con Microsoft Presidio**

En la figura 1, se muestra el flujo de trabajo técnico desde el ingreso de la fuente de datos hasta los resultados finales.

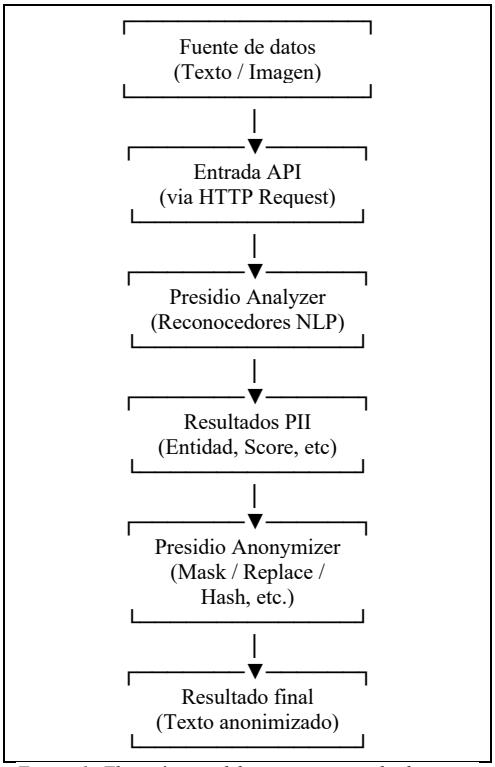



*Figura 1. Flujo técnico del procesamiento de datos con Microsoft Presidio*

**Ejemplo de invocación básica vía API**

A continuación se muestra un ejemplo simple uso de analizador:

```
curl -X POST http://localhost:3000/analyze \
  -H "Content-Type: application/json" \
  -d '{
    "text": "Mi email es vevdsfdsz@example.com y mi teléfono es 1155551234",
    "language": "en"
}'
```

*Tabla 1. Uso del analizador*

La respuesta contiene un objeto JSON con las entidades detectadas y sus ubicaciones, validando el funcionamiento de los reconocedores predefinidos.

A continuación vemos un ejemplo de respuesta:

```
[
  {"entity_type": "EMAIL_ADDRESS",
    "start": 13,
    "end": 33,
    "score": 0.85,
    "analysis_explanation": {
            "recognizer": "EmailRecognizer",
           "pattern_name": "email (weak)",
           "pattern":
"\\b[A-Za-z0-9._%+-]+@[A-Za-z0-9.-]+\\.[A-Za-z]{2,4}\\b",
            "original_score": 0.85,
            "score": 0.85,
            "text": "vevdsfdsz@example.com"
    }
  },
  {"entity_type": "PHONE_NUMBER",
   "start": 53,
   "end": 63,
   "score": 0.6,
   "analysis_explanation": {
            "recognizer": "PhoneRecognizer",
           "pattern_name": "phone (weak)",
           "pattern": "\\b(?:\\+?\\d{1,3})?[-.\\s]?\\(?\\d{2,4}\\)?[-.\\s]?\\d{3,4}[-.\\s]?\\d{3,4}\\b",
           "original_score": 0.6,
           "score": 0.6,
           "text": "1155551234"
    }
  }
]
```

*Tabla 2. Respuesta del analizador*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Trabajos relacionados**

La detección y protección de información sensible ha sido abordada en múltiples investigaciones en los últimos años. Herramientas como Scrubadub [14],[15], PII Vault[16],[17] y Anonymouth[18] también apuntan a la anonimización de datos pero presentan limitaciones en cuanto a modularidad, integración o soporte multilingüe [19],[18.].

A diferencia de estos enfoques, Microsoft Presidio[1],[2] propone una arquitectura orientada a microservicios que facilita su incorporación en sistemas ya exigentes. Además, permite una personalización avanzada a través de reconocedores definidos por el usuario, lo cual se convierte en una ventaja frente a modelos de caja negra.

En trabajos anteriores como el de Ben Galon et al. (Microsoft, 2020), se demostró que la herramienta podía adaptarse a diversos entornos regulatorios y empresariales [20]. No obstante, pocos papers en español han documentado implementaciones concretas o pruebas funcionales con adaptaciones lingüísticas locales, lo que representa una oportunidad para ampliar su análisis en contextos latinoamericanos.

Cabe mencionar que el presente eje de estudio se encuentra inserto dentro del proyecto Desarrollo de un modelo de IA para detección de Personal Identifiable Information (PII), cuyo objetivo es "desarrollar un modelo de Inteligencia Artificial que detecte datos correspondientes a PII (Personal Identifiable Information), regulados por la Ley 25.326 de Argentina[5], en documentos
para lograr trazabilidad en una organización, a los fines de minimizar el tiempo de evaluación de impacto ante ataques de fuga de datos".

**Desafíos técnicos y consideraciones éticas**

Durante la experimentación con Presidio se observaron diversas fortalezas, pero también limitaciones técnicas y prácticas:

- Soporte multilingüe limitado: Presidio esta optimizado para el idioma inglés. Adaptarla a español requiere modificar o crear nuevos reconocedores personalizados, lo cual demanda conocimientos de NPL y configuraciones de spaCy[6].

- Requisitos Técnicos: La ejecución completa de los servicios (especialmente el redactor de imágenes) puede requerir recursos computacionales significativos, lo que limita su uso en dispositivos de baja capacidad

- OCR[7],[8],[9] en imágenes complejas: Si bien el componente image-redactor funciona bien con textos claros, su rendimiento disminuye ante textos borrosos, manuscritos o con ruido visual

- Curva de aprendizaje: El uso de APIs REST, configuración por JSON y despliegue con Docker[10] puede representar una barrera inicial para usuarios sin experiencia en infraestructura o desarrollo.

El uso de herramientas automáticas para la detección de información personal identificable (PII) como Microsoft Presidio plantea desafíos éticos significativos. En primer lugar, una detección incompleta o errónea puede generar falsos positivos o negativos, lo cual es especialmente problemático en contextos legales o regulatorios. Por ejemplo, omitir una dirección o un número de tarjeta puede conllevar consecuencias legales por incumplimiento de normativas como la Ley 25.326 de Protección de Datos Personales en Argentina [5] o el California Consumer Privacy Act (CCPA) en Estados Unidos [3].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Además, la confiabilidad del sistema depende del entrenamiento de los modelos de lenguaje utilizados, que pueden tener sesgos o limitaciones culturales, especialmente si se trata de textos en español latinoamericano no contemplados originalmente en los modelos. Otro punto crucial es la gestión de los logs o salidas: incluso si la herramienta detecta y anonimiza datos sensibles, su almacenamiento posterior debe cumplir con políticas de seguridad estrictas para evitar nuevas exposiciones, como las establecidas por las buenas prácticas de ciberseguridad recomendadas por organismos como OWASP [21],[22],[23] o la Agencia de Acceso a la Información Pública.

En contextos forenses o de seguridad ofensiva, se debe evitar el uso indebido de herramientas como Presidio para realizar ingeniería inversa sobre documentos confidenciales. La ética profesional y una gobernanza adecuada en su implementación son esenciales para minimizar daños potenciales y prevenir violaciones de privacidad.

**Posibilidades de Integración**

Uno de los principales beneficios de Microsoft Presidio [1][2] es su arquitectura modular y su diseño orientado a servicios, lo que facilita su integración en distintos entornos tecnológicos.

Microsoft Presidio puede ser desplegado como un microservicio independiente dentro de un contenedor Docker [10], lo que facilita su instalación, ejecución y portabilidad entre distintos entornos.

Además, es compatible con orquestadores como Kubernetes [24];[25], que permiten escalar múltiples instancias del servicio, gestionarlas de forma automatizada, y asegurar su disponibilidad ante fallos.

Este enfoque modular habilita su incorporación directa en pipelines de anonimización en tiempo real, especialmente en entornos de integración y entrega continua (CI/CD) como Jenkins [26][27] o GitHub Actions [28][29]. Esto significa que Presidio puede ser ejecutado automáticamente cada vez que se recibe un nuevo conjunto de datos, garantizando que toda la información sensible sea anonimizada antes de ser almacenada o procesada.

Además, es posible utilizar Presidio en combinación con herramientas de almacenamiento en la nube como Azure Blob Storage o bases de datos SQL/NoSQL (como PostgreSQL o MongoDB), aplicando procesos automáticos de escaneo y anonimización. También se destaca la capacidad de integrarlo con soluciones de monitoreo y respuesta ante incidentes como los sistemas SIEM (Security Information and Event Management), o bien, dentro de flujos de procesamiento ETL (Extracción, Transformación y Carga), permitiendo análisis en tiempo real de datos sensibles presentes en logs o archivos masivos.

Para organizaciones con necesidades específicas, la API RESTful de Presidio permite desarrollar aplicaciones personalizadas tanto en entornos en la nube como en instalaciones locales (on-premise), brindando flexibilidad sin comprometer la privacidad ni la integridad de los datos.

**Conclusiones y trabajos futuros**

El presente trabajo/investigación permitió realizar un análisis detallado de Microsoft Presidio como solución open-source para la detección y anonimización de información sensible. Se comprobó que su arquitectura modular, su integración con tecnologías como spaCy[6] y OCR[7],[8],[9], y su capacidad de personalización lo convierte en una herramienta versátil y poderosa en entornos que requieren tratamiento responsable de datos personales.

En comparación con otras soluciones como Scrubadub[14],[15],[19] o Anonymouth[18], Presidio sobresale por su flexibilidad y capacidad de personalización, aunque aún enfrenta desafíos importantes en cuanto a:

- soporte multilingüe limitado (especialmente en español latinoamericano)
- configuración técnica inicial

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- consumo de recursos en procesamiento de imágenes complejas
- la necesidad de políticas sólidas para la gestión de logs y auditoría de resultados.

Además, se identificaron consideraciones éticas clave en su implementación, como la posibilidad de falsos positivos o negativos en contextos legales, la presencia de sesgos en los modelos de lenguaje, y los riesgos en la gestión de logs o usos indebidos en entornos forenses. Estas cuestiones subrayan la necesidad de acompañar cualquier despliegue de Presidio con políticas robustas de gobernanza, documentación y buenas prácticas.
Es importarte destacar su extensibilidad, la cual permite lograr implementaciones adaptadas según el contexto para el cual se lo usa

Como líneas futuras de trabajo, se propone:

- Desarrollar y documentar reconocedores personalizados para el idioma español, incluyendo entidades locales como CUIT, CUIL, DNI y direcciones argentinas.

- Evaluar el rendimiento de los modelos OCR en distintos tipos de imágenes y dispositivos móviles.

- Investigar estrategias de reducción de consumo de recursos para facilitar su adopción en contextos educativos o de baja infraestructura.

- Comparar empíricamente la precisión de Presidio frente a otros sistemas de detección de PII entrenados para el idioma español.

La necesidad de proteger la privacidad en los sistemas actuales seguirá creciendo, y herramientas como Presidio pueden convertirse en piezas fundamentales para lograr un ecosistema digital más seguro, ético y respetuoso de los derechos individuales. Fomentar su análisis, adaptación y uso en comunidades de habla hispana puede representar un avance significativo en el campo de la privacidad automatizada, siempre que se lo haga con criterios éticos, técnicos y sociales bien definidos.

**Glosario de Términos y Acrónimos**

- PII (Personally Identifiable Information): Información que permite identificar a una persona, como nombre, DNI, dirección, etc.
- NER (Named Entity Recognition): Técnica de PLN para identificar entidades como personas, ubicaciones o fechas.
- PLN (Procesamiento de Lenguaje Natural): Rama de la inteligencia artificial que permite que las computadoras comprendan texto o voz humana.
- CCPA (California Consumer Privacy Act): Ley de privacidad en EE.UU. que otorga derechos a los consumidores sobre sus datos personales.
- Docker: Plataforma para crear y ejecutar contenedores de software.
- ETL (Extract, Transform, Load): Proceso de extracción, transformación y carga de datos, común en análisis de big data.
- CI/CD (Integración y Entrega/Despliegue Continuo)
- CI (*Continuous Integration*) se refiere a la práctica de integrar automáticamente los cambios de código realizados por distintos desarrolladores en un repositorio compartido, donde se ejecutan pruebas automatizadas para verificar su correcto funcionamiento.
- CD puede significar *Continuous Delivery* (entrega continua) o *Continuous Deployment* (despliegue continuo), y representa la automatización de la entrega de software hacia entornos de pruebas o

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



producción, con o sin intervención manual. Estas prácticas permiten detectar errores tempranamente, reducir tiempos de entrega y asegurar mayor confiabilidad en los procesos de desarrollo y despliegue.

**Agradecimientos**
Se agradece al GISSIC – Grupo de Investigación en Seguridad de Sistemas de Información y Ciberseguridad y a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba por el apoyo institucional y los recursos técnicos brindados, que hicieron posible el desarrollo de este trabajo. Asimismo, se reconoce la colaboración de docentes e integrantes del grupo de investigación, cuyas sugerencias y aportes resultaron valiosos para enriquecer la presente investigación.

**Referencias**
[1] Microsoft, *Presidio GitHub Repository*. https://github.com/microsoft/presidio. Último acceso: agosto 2025.
[2] Microsoft, *Presidio Documentation*. https://microsoft.github.io/presidio/ . Último acceso: agosto 2025.
[3] California State Legislature, *California Consumer Privacy Act (CCPA)*, 2018. Disponible en: https://oag.ca.gov/privacy/ccpa .Último acceso: agosto 2025.
[4] Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, *Reglamento General de Protección de Datos (GDPR)*, Reglamento (UE) 2016/679, 2016. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj .Último acceso: agosto 2025.
[5] Ley 25.326 - *Ley de Protección de los Datos Personales* (Argentina). Presidencia de la Nación Argentina, 2000. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25326-50790 .Último acceso: agosto 2025.
[6] spaCy Documentation. Explosion AI. [En línea]: https://spacy.io/usage .Último acceso: agosto 2025.
[7] Ijraset Journal For Research in Applied Science and Engineering Technology https://www.ijraset.com/research-paper/ocr-optical-character-recognition .Último acceso: agosto 2025.
[8] Universidad Carnegie Mellon Libraries https://guides.library.cmu.edu/History/digital-humanities .Último acceso: agosto 2025.
[9] Optical Character Recognition: An Illustrated Guide to the Frontier (Volume 502) Hardcover – Large Print, June 30 2013 by Stephen V. Rice (Author), George Nagy (Author), Thomas A. Nartker (Author) https://www.amazon.ca/Optical-Character-Recognition-Illustrated-Frontier/dp/079238492X .Último acceso: agosto 2025.
[10] Página oficial Docker, https://www.docker.com/. Último acceso: agosto 2025.
[11] Página oficial Curl https://curl.se/ .Último acceso: agosto 2025.
[12] Página oficial Postman https://www.postman.com/ .Último acceso: agosto 2025.
[13] Postman https://learning.postman.com/docs/getting-started/importing-and-exporting/importing-curl-commands/ .Último acceso: agosto 2025.
[14] https://github.com/LeapBeyond/scrubadub .Último acceso: agosto 2025.
[15]https://scrubadub.readthedocs.io/en/stable/?utm_source. Último acceso: agosto 2025.
[16]https://anonomatic.com/pii-vault-overview/ .Último acceso: agosto 2025.
[17]https://azuremarketplace.microsoft.com/en-us/marketplace/apps/anonomaticinc1603984305950.pii-vault-saas-trial?tab=overview .Último acceso: agosto 2025.
[18] T. Toth, *Anonymouth: A tool for anonymizing authorship of documents*, Privacy, Security and Automation Lab (PSAL), Drexel University; repository GitHub: https://github.com/psal/anonymouth , 2013.Último acceso: agosto 2025.
[19] R. Nevin, *Scrubadub: Clean personally identifiable information from dirty dirty text*, Python Package Index (PyPI), 2020. https://pypi.org/project/scrubadub/. Último acceso: agosto 2025.
[20] Galon, B., et al. "Presidio – Open-source framework for PII detection and anonymization." Microsoft AI Blog, 2020. https://techcommunity.microsoft.com/t5/ai-cognitive-services-blog/presidio-open-source-framework-for-pii-data-anonymization/ba-p/1470832 .Último acceso: agosto 2025.
[21] https://owasp.org/ .Último acceso: agosto 2025.
[22] Los 10 mejores en seguridad de datos de 2023 https://owasp.org/www-project-data-security-top-10/ .Último acceso: agosto 2025.
[23] OWASP Application Security Verification Standard (ASVS)https://owasp.org/www-project-application-security-verification-standard/ .Último acceso: agosto 2025.
[24] Kubernete: The Kubernetes Authors. *Kubernetes Documentation*. Recuperado de: https://kubernetes.io/es/docs/home/ .Último acceso: agosto 2025.
[25] Kubernete; Hightower, K., Burns, B., & Beda, J. (2017). *Kubernetes: Up and Running*. O'Reilly Media. .Último acceso: agosto 2025.
[26] Sato, H., & Yamamoto, Y. (2011). *Jenkins: The Definitive Guide*. O'Reilly Media. Recuperado de: https://www.oreilly.com/library/view/jenkins-the-definitive/9781449311155/. Último acceso: agosto 2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[27] Jenkins. (s.f.). *Jenkins User Documentation*. Jenkins.io. Recuperado de: https://www.jenkins.io/doc/. Último acceso: agosto 2025.

[28] Kinsman, T., et al. (2021). *How Do Software Developers Use GitHub Actions to Automate Their Workflows?* arXiv preprint. Recuperado de: https://arxiv.org/abs/2103.12224 .Último acceso: agosto 2025.

[29] GitHub. (s.f.). *About GitHub Actions*. GitHub Docs. Recuperado de: https://docs.github.com/en/actions. Último acceso: agosto 2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Desarrollo de un sistema de comunicaciones en tiempo real entre sistemas embebidos

**Aráoz Allemand, Pablo Andrés; Díaz Benini, Matías Agustín; Villanueva Britos, Agustín Nestor**
***Instituto Universitario Aeronáutico, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*Se presenta el diseño e implementación de un sistema de comunicaciones que sincroniza, en tiempo real y con baja latencia, datos de aviónica entre dos Raspberry Pi 3B+. La propuesta integra: (i) adquisición y normalización de señales, (ii) marcado temporal coherente entre nodos y (iii) transporte sobre enlaces punto-punto utilizando protocolos estándar. Se comparan tres interfaces (UART, SPI por bit-banging y Ethernet/UDP) bajo métricas de latencia, jitter y tasa de éxito, en un entorno de laboratorio con cargas controladas. Los resultados muestran que Ethernet ofrece el mejor rendimiento medio en throughput, con jitter ocasional; UART entrega estabilidad y simplicidad con moderado caudal; y SPI por bit-banging resulta sensible a la temporización del sistema operativo, afectando la confiabilidad a altas tasas. El prototipo valida el enfoque como banco de pruebas para canalizar variables de vuelo hacia un visor montado en casco (HMD) y establece lineamientos de selección de interfaz según prioridades de ancho de banda, consumo y determinismo. Se discuten limitaciones y se delinean próximos pasos hacia plataformas con temporización determinista.*

**Palabras Clave**
sistemas embebidos; sincronización temporal; UART; SPI; Ethernet; *bit-banging*; latencia; *jitter*; HMD

## Introducción

Los visores montados en casco (HMD) exigen canales confiables y de baja latencia para superponer, en tiempo real, información crítica de vuelo. En fases tempranas de I+D resulta valioso explorar soluciones con hardware disponible comercialmente (COTS) que permitan iteración rápida, aun con temporización menos estricta que las arquitecturas aeronáuticas certificadas.

Este trabajo aborda esa brecha: propone una arquitectura de bajo costo que sincroniza datos de aviónica entre dos nodos embebidos y los prepara para su proyección en HMD. La contribución principal es doble: (i) un diseño reproducible que combina normalización, marcado temporal y transporte con protocolos estándar y (ii) una evaluación comparativa de UART, SPI por *bit-banging* y Ethernet/UDP bajo métricas de *tiempo real blando* (latencia, *jitter*, continuidad).

El alcance es de laboratorio: no se persiguen objetivos de certificación ni operación en vuelo. El foco está en la arquitectura, el protocolo de mensajes y la evaluación experimental con escenarios controlados. Al cierre, se formulan recomendaciones prácticas y líneas de trabajo futuras hacia plataformas con determinismo más fuerte.

## Desarrollo

El proyecto comenzó con un análisis del estado en sistemas de comunicación para aviónica, así también identificando protocolos maduros como los utilizados en soluciones propietarias. Se contrastaron con plataformas embebidas de propósito general, como la mencionada Raspberry Pi 3B+, que brindan flexibilidad pero con limitaciones en temporización estricta. Este análisis justificó la necesidad de explorar una solución de bajo costo y alta iteración.

A partir de ello se diseñó la arquitectura de la cual se guiarán y se adaptará cada protocolo de comunicación -UART, SPI, Ethernet-. Se definieron roles claros: un nodo maestro y un nodo esclavo, utilizando una comunicación punto a punto. Dado que la Raspberry Pi 3B+ no soporta nativamente el rol de esclavo SPI, se implementó una solución de bit-banging para emular esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



funcionalidad, permitiendo un control detallado de la temporización.

Se desarrolló un protocolo estándar de mensajería de baja latencia, incorporando tramas con CRC (cyclic redundancy check) para detección de errores y mecanismos de recuperación activa, como re-sincronización dirigida por eventos. La arquitectura también incluyó supervisión de errores y manejo de pérdidas acotadas, esenciales para la consistencia temporal extremo a extremo.

A continuación se adjunta en la Fig. 1. la trama general desarrollada para llevar a cabo los ensayos.

| ENCABEZADO | | CARGA ÚTIL | | TRAILER |
|---|---|---|---|---|
| INICIO DE MENSAJE | TIPO DE MENSAJE | LONGITUD | DATOS | CONTROL |
| 1 byte | 1 byte | 2 bytes | 5 bytes x variable | 1 byte |

Fig. 1 Trama del protocolo.

La implementación se llevó a cabo en un entorno de laboratorio con dos Raspberry Pi 3B+, conectadas mediante cableado simple. Para Ethernet, se emplearon sockets UDP en Python, optimizados para latencia baja. Para SPI, se utilizó la técnica de bit-banging debido a las limitaciones del hardware, mientras que UART se configuró como una alternativa serial asincrónica.

Se definieron criterios de evaluación que incluían latencia (tiempo de respuesta), jitter (variación temporal), tasa de éxito en la transmisión y estabilidad bajo carga de CPU.

Las pruebas contaron con las siguientes particularidades:

- SPI: Se utilizó **SCHED_FIFO** con **prioridad 85** para dar servicio inmediato y estable a bit-banging. Se fijó **afinidad al núcleo 2** y se movieron **IRQs ruidosas** a otro núcleo para reducir migraciones y latencia. Además, con **ionice -c1 -n0** se priorizó la entrada/salida y con **nice -20** se aseguró máxima prioridad en modo no-RT si hiciera falta.

Los resultados se centraron en métricas clave:

- Latencia: Se midieron tiempos de respuesta entre nodos, mostrando valores promedios bajos en Ethernet (aunque con leves fluctuaciones impredecibles en ocasiones) y moderados en UART, con SPI ofreciendo alta velocidad local pero latencias variables debido al *bit-banging*.
- Jitter: Se evaluó la variación temporal, identificando fluctuaciones menores en Ethernet y mayores en SPI por la emulación manual.
- Tasa de Éxito: El protocolo mostró pérdidas acotadas, gracias al CRC y la re-sincronización activa. El análisis crítico reveló que el prototipo cumple con requisitos básicos de tiempo real blando, validando su utilidad como banco de pruebas. Sin embargo, se identificaron limitaciones, como la dependencia de la carga de CPU en SPI y la necesidad de optimizar la red en Ethernet.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Evaluamos UART, Ethernet y SPI.

- UART fue simple y estable, pero con velocidad efectiva menor a la esperada.
- Ethernet ofreció alto throughput y fácil integración, aunque sobredimensionada en consumo para los requisitos del sistema.
- El bit-banging en espacio de usuario sobre Raspberry Pi OS introduce *jitter* y pérdidas que limitan el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



desempeño: a **4500 Hz** logró **90,62%** de éxito y **5450 bps**, y a **12000 Hz** cayó a **70%** con **el mismo throughput**. Por tanto, **no escala** con la frecuencia. Se recomienda SPI hardware con DMA o un microcontrolador.

Limitaciones: una sola plataforma sin RTOS, SPI por software en vez de controlador/DMA, dataset de laboratorio y medición energética poco granular.
Aporte: se clarifica el trade-off rendimiento/consumo/complexidad y se ofrece guía de selección: UART como opción balanceada; Ethernet cuando prime el ancho de banda; SPI viable sólo con temporización determinista.

Trabajos futuros:

1. Migración a una plataforma que cuente con un sistema operativo en tiempo real (RTOS) para temporización determinista.

2. Optimización de código.

3. Dataset real para resultados más fieles.

**Agradecimientos**
Agradecemos a la facultad por no solo brindarnos la oportunidad de ser parte del trabajo, sino también por proveernos de las herramientas necesarias para el desarrollo del mismo, y a nuestro tutor Claudio Anibal Porchietto por siempre estar para darnos una mano.

**Datos de Contacto:**

*Díaz Benini, Matías Agustín. Instituto Universitario Aeronáutico. Dirección postal X5001. matiasdiazbenini@gmail.com*

*Villanueva Britos, Nestor Agustin. Instituto Universitario Aeronáutico. Dirección postal X5001. agustinvillanueva18@gmail.com*

*Aráoz Allemand, Pablo Andrés. Instituto Universitario Aeronáutico. Dirección postal X5001. 202202.araoz@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Arquitectura Híbrida para la Detección de Incidentes de Seguridad en Logs utilizando Embeddings y Aprendizaje Automático Clásico

**Duarte, Tomás Ariel - Orban, Gonzalo Tomás**

***Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Resistencia, Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC)***

**Resumen**

*En entornos informáticos modernos, los registros de sistemas (logs) constituyen una fuente crítica para la detección temprana de incidentes de ciberseguridad. Sin embargo, la revisión manual de estos datos resulta ineficiente y propensa a errores, mientras que los métodos basados en reglas carecen de adaptabilidad ante amenazas emergentes. Este trabajo propone un enfoque híbrido que combina representaciones semánticas generadas por Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM), como BERT o GPT, con clasificadores clásicos como Support Vector Machine (SVM) y Random Forest para la detección y clasificación de anomalías en registros. El pipeline propuesto incluye la recolección de datos desde conjuntos públicos, preprocesamiento y anonimización, generación de embeddings mediante Sentence-BERT, y posterior clasificación binaria entre eventos normales y anómalos. La propuesta busca mejorar la capacidad de detección frente a ataques no detectados por otros métodos tradicionales, reducir la dependencia de grandes volúmenes de datos etiquetados y facilitar la integración en entornos operativos existentes.*

**Palabras clave**

Ciberseguridad; Detección de anomalías; Modelos de Lenguaje de Gran Escala; Embeddings; Random Forest.

## 1. Introducción

La detección temprana de comportamientos anómalos en registros de sistemas es una tarea fundamental para prevenir incidentes de seguridad. Con el crecimiento exponencial de datos en entornos corporativos y de *Internet of Things* (IoT), los enfoques tradicionales basados en reglas han demostrado ser insuficientes frente a amenazas desconocidas o ataques de día cero. La inspección manual, por su parte, resulta costosa e ineficiente.

Los LLM han emergido como herramientas prometedoras para comprender la semántica y el contexto en texto no estructurado, lo que permite capturar patrones complejos en registros de eventos. En este trabajo se propone una arquitectura híbrida que utiliza *embeddings*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



generados por modelos de lenguaje como entrada a clasificadores clásicos, buscando equilibrar capacidad de generalización, costo computacional e interpretabilidad.[1]

Recientes investigaciones han demostrado que combinar *embeddings* generados por LLM con algoritmos clásicos como SVM o *Random Forest* puede superar tanto a métodos puramente basados en reglas como a arquitecturas profundas entrenadas de extremo a extremo, logrando alta precisión incluso con volúmenes moderados de datos etiquetados.[2, 3]

El presente artículo presenta una propuesta que integra dichas técnicas con el objetivo de ofrecer un sistema adaptable, interpretable y fácilmente integrable en Centros de Operaciones de Seguridad (SOC). El artículo se organiza de la siguiente manera. En primer lugar, se expone el flujo de trabajo general que sustenta la propuesta, detallando las etapas que comprenden la recolección de datos, su limpieza y normalización, el proceso de anonimización y estandarización de formatos, así como la generación de *embeddings* y su posterior utilización en algoritmos de clasificación. En la sección siguiente se aborda la evaluación experimental, en la cual se emplean métricas estándar de detección de anomalías y se contrastan los resultados obtenidos con los de enfoques tradicionales. Posteriormente, se discute la integración del sistema en SOC, poniendo énfasis en su compatibilidad con plataformas ya consolidadas. A continuación y como parte de la conclusión, se presentan los trabajos relacionados que constituyen la base conceptual y metodológica de la propuesta. Finalmente, se señalan posibles líneas de investigación futura, orientadas a la ampliación de fuentes de datos, la mejora de las capacidades de explicabilidad y la optimización de la integración operativa.

**2. Flujo de trabajo**

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a un proceso de investigación colaborativa en el que el equipo analizó diversas fuentes de información especializadas en ciberseguridad y aprendizaje automático. A partir de la revisión de papers y artículos recientes, se identificaron enfoques y resultados relevantes que sirvieron de base para comprender las limitaciones de los métodos tradicionales y las oportunidades que ofrecen los modelos de lenguaje de gran escala en la detección de anomalías. Estos insumos permitieron idear una arquitectura híbrida que combina embeddings semánticos con clasificadores clásicos, seleccionando aquellas técnicas que mostraban mayor solidez y aplicabilidad en entornos operativos. El

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



contraste de diferentes propuestas nos ayudó a definir las etapas del *pipeline*, desde la recolección y anonimización de datos hasta la clasificación y la evaluación de los resultados. De esta manera, el trabajo no solo se nutre de aportes teóricos ya existentes, sino que también los sintetiza y reinterpreta para proponer un sistema aplicable en escenarios reales.

El flujo de trabajo propuesto se compone de las siguientes etapas ilustradas en la Figura 1:

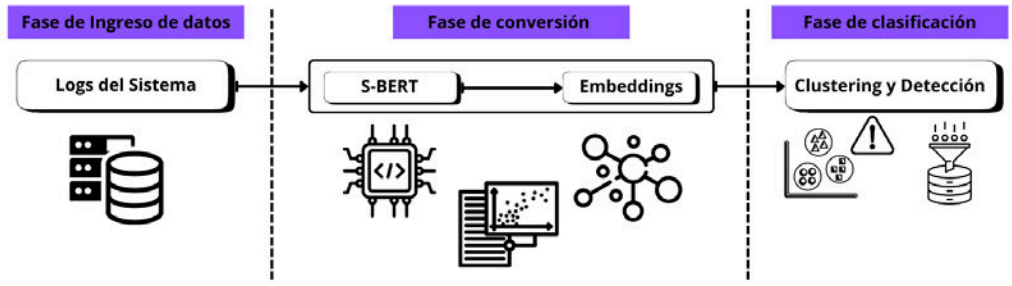



*Figura 1: Pipeline propuesto para la detección de anomalías*

**3. Recolección de datos**

La primera etapa sería Recolección de datos. Se utilizan *datasets* públicos de logs como HDFS (logs de sistemas distribuidos de archivos) y BGL (logs de supercomputadoras). Estos *datasets* contienen tanto eventos normales como anómalos, lo que permite entrenar y evaluar el sistema en condiciones realistas. Además, se podrían integrar otras fuentes de datos: logs de red, firewall, autenticación de usuarios, etc. La recolección parcial o sesgada puede inducir falsos positivos cuando el modelo se despliegue en otros dominios, por lo que debe revisarse cuidadosamente.

La calidad y la representatividad de los datos son condicionantes críticos en tareas de detección de anomalías. Desde un enfoque estadístico, los registros deben conformar una muestra amplia y variada que represente fielmente el comportamiento real del sistema para que los estimadores (*clustering*, clasificadores) converjan a una separación relevante entre distribuciones normales y anómalas [4]. Con suficientes datos variados, el modelo va a ir ajustando sus parámetros hasta que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la frontera entre normal y anómalo sea estable y representativa de la realidad.

**4. Conversión**

En la segunda fase, se encuentran la conversión semántica (*embeddings* a partir de modelos de lenguaje. Figura 2), el preprocesamiento, anonimización y depuración. El proceso comienza con una etapa de limpieza de los registros, que incluye la eliminación de caracteres irrelevantes, la normalización de fechas y la supresión de duplicados.




*Figura 2: Ejemplo de conversión de un log del sistema en un embedding vectorial mediante Sentence-BERT (SBERT).*

Posteriormente, se realiza la estandarización del formato para garantizar una estructura homogénea de los datos, representada, por ejemplo, como <timestamp> <nivel> <mensaje>. [5]

Para la anonimización se busca sustituir datos sensibles como direcciones IP, nombres de usuario o rutas por etiquetas genéricas abstractas (<IP>, <USER>). Teóricamente, esto reduce la varianza espuria debida a entidades únicas y mejora la densidad poblacional en el espacio de características. De esta manera, se evita la dispersión artificial producida por múltiples valores distintos que, desde un punto de vista semántico, representan el mismo concepto, como ocurre con cientos de direcciones IP diferentes que cumplen una función equivalente.

Se usan modelos de lenguaje como *Sentence-BERT* para convertir cada log en un *embedding* (vector numérico de alta dimensión). Los mismos capturan la semántica del mensaje: por ejemplo, dos logs que hablan de “fallo de autenticación” y “error de login” tendrán vectores cercanos en el espacio vectorial. Los mismos permiten detectar similitudes y patrones incluso cuando la superficie léxica cambia. Esto reduce la dependencia

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de expresiones exactas y mejora la generalización frente a eventos no vistos. A su vez permite que los clasificadores tradicionales (en nuestro caso *Random Forest*) trabajen con representaciones numéricas ricas en significado. El objetivo es mapear cada registro a una representación vectorial que capture la semántica y relaciones del texto del log tratando de reducir la dependencia de coincidencias léxicas exactas.

A diferencia de los enfoques de aprendizaje profundo entrenados de extremo a extremo, que requieren grandes volúmenes de datos etiquetados, la propuesta basada en *embeddings* permite obtener buenos resultados con menos información supervisada. En el aprendizaje automático clásico, entrenar un modelo para distinguir entre eventos normales y anómalos suele demandar millones de registros previamente clasificados, un proceso costoso y lento que depende de la revisión manual por parte de expertos. Además, la naturaleza cambiante de los ataques vuelve rápidamente obsoletos muchos de esos conjuntos de datos. En contraste, el uso de embeddings generados por modelos de lenguaje preentrenados, como BERT o Sentence-BERT, aporta una representación semántica que facilita la identificación de patrones y anomalías incluso con un número reducido de ejemplos. Esto no solo disminuye la dependencia de grandes conjuntos de datos etiquetados, sino que también mejora el aprovechamiento de recursos y permite una mayor capacidad de adaptación frente a comportamientos nuevos o previamente no etiquetados.

## 5. Clasificación

Como tercer fase se detectan y clasifican anomalías, es decir, se transforman las representaciones numéricas obtenidas en la fase previa (*embeddings*) en decisiones útiles para la seguridad. El sistema debe producir tanto una etiqueta (normal / anómalo) como un puntaje de riesgo que permita ordenar y gestionar las incidencias de forma práctica.[6]

Partimos de la idea de que, tras la conversión semántica, cada registro queda representado por un vector que resume su contenido. Dependiendo de la disponibilidad de ejemplos etiquetados, la detección puede abordarse con técnicas supervisadas como *Random Forest* (Figura 3)(aprendizaje a partir de ejemplos), semisupervisadas o no supervisadas como *K-means* (Figura 4)(exploración de grupos y detección de valores atípicos). La combinación de ambos enfoques permite mejorar la detección de anomalías en registros de sistemas, reduciendo falsos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



positivos y aumentando la interpretabilidad del sistema.

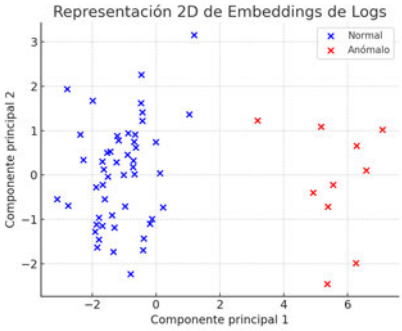



*Figura 3: Representación bidimensional de embeddings de logs.*[1]

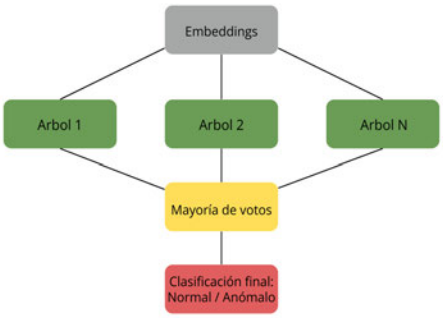



*Figura 4: Esquema del algoritmo Random Forest*[2]

## 6. Evaluación

En la cuarta etapa que sería de Evaluación, se mide el desempeño del modelo empleando métricas estándar en el campo de la detección de anomalías. La precisión mide la proporción de alertas emitidas por el sistema que efectivamente corresponden a ataques, lo cual resulta clave para reducir la cantidad de falsos positivos. La exhaustividad(*recall*) indica qué porcentaje de los ataques reales fue correctamente identificado, permitiendo estimar la capacidad del sistema para no pasar por alto incidentes relevantes. El *F1-score*, por su parte, constituye una medida equilibrada que combina ambas perspectivas y ofrece una visión global de la efectividad del modelo. [7]

La validez de los resultados se refuerza mediante la comparación con enfoques tradicionales, como los mecanismos de detección basados en reglas o los métodos de agrupamiento no supervisado sin representaciones semánticas, lo que permite demostrar de manera objetiva las mejoras alcanzadas con la propuesta.

## 7. Presentación

Superada esta fase de validación, el siguiente paso lógico consiste en analizar cómo el modelo puede ser desplegado en un entorno real (SOC). En la mayoría de las organizaciones ya existen plataformas consolidadas para la recolección y análisis de registros, como *SIEMs* del tipo *Splunk* o *ELK Stack*, que generan alertas de manera rutinaria. En este contexto, un requisito esencial es que el *pipeline* de detección

[1] Puntos azules: eventos normales; puntos rojos: eventos anómalos. Permite visualizar la separación en el espacio de características y apoyar la detección de anomalías.

[2] Los embeddings se utilizan como entrada para múltiples árboles de decisión, cuyos resultados se combinan mediante votación mayoritaria para obtener la clasificación final entre eventos normales y anómalos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(desde la ingesta de logs, el procesamiento mediante *embeddings* y el clasificador, hasta la generación de alertas) pueda incorporarse sin necesidad de reemplazar la infraestructura existente. De este modo, el sistema puede integrarse como un módulo adicional que entrega etiquetas o indicadores de riesgo dentro de los mismos paneles que ya utilizan los analistas, facilitando la adopción y permitiendo además un esquema de retroalimentación continua para el ajuste dinámico de umbrales y la mejora progresiva del modelo.

**Conclusión**

Diversos estudios recientes han explorado la incorporación de LLM en tareas de seguridad, lo que constituye la base sobre la que se apoya esta investigación. Entre ellos, HuntGPT (Ali & Kostakos, 2023) propone la integración de LLM con algoritmos como *Random Forest* y SVM para la detección en tráfico de red. De manera similar, APT-LLM (Benabderrahmane & Valtchev, 2025) demuestra que los *embeddings* generados a partir de LLM pueden mejorar significativamente la detección de amenazas persistentes avanzadas en comparación con métodos no supervisados como *Isolation Forest*. Karlsen et al. (2024), por su parte, confirman mediante un estudio de *benchmarking* que la combinación de representaciones semánticas con clasificadores clásicos logra un rendimiento competitivo y una mayor interpretabilidad frente a arquitecturas profundas de extremo a extremo. En la misma línea, investigaciones como las de González y Salazar (2021) y Ramírez y López (2022) evidencian que los enfoques híbridos basados en aprendizaje automático pueden optimizar la detección de anomalías en los logs. Este cuerpo de trabajos evidencia una convergencia creciente hacia la utilización de LLM combinando robustez, eficiencia y capacidad de generalización.

Sobre esta base, el modelo logra un balance entre generalización, eficiencia computacional e interpretabilidad, superando tanto las limitaciones de los enfoques puramente basados en reglas como las exigencias de los métodos profundos que requieren grandes volúmenes de datos etiquetados. La arquitectura planteada facilita además su incorporación en SOC, lo que refuerza su aplicabilidad en entornos reales.

De cara a la evolución del sistema, resulta clave consolidar líneas de investigación orientadas a ampliar las fuentes de datos utilizadas, integrando no solo registros de sistemas distribuidos sino también logs de red, firewalls, servicios de autenticación y aplicaciones críticas, con el fin de construir

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



una visión más completa y correlacionada de los incidentes. Finalmente, la incorporación de mecanismos de explicabilidad más avanzados y de técnicas de aprendizaje activo que integren la retroalimentación de analistas permitiendo mejorar la precisión de las detecciones y aumentar la confianza de los equipos de seguridad en las decisiones emitidas por el sistema.

**Referencias**

[1] Ali, T., & Kostakos, P. (2023). Huntgpt: Integrating machine learning-based anomaly detection and explainable ai with large language models (LLMs). https://arxiv.org/abs/2309.16021

[2] Benabderrahmane, S., & Valtchev, P. (2025). APT-LLM: Embedding-Based Anomaly Detection of Cyber Advanced Persistent Threats Using Large Language Models.https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/11011912/

[3] Tejero-Fernández, J. J., & Sánchez-Macián, A. (2025). Evaluating Language Models For Threat Detection in IoT Security Logs. https://arxiv.org/abs/2507.02390

[4] Microsoft Developer (2025). Hybrid AI for Security at Microsoft, with Emmanuel Victorio, on Mr. Maeda's Cozy AI Kitchen [Video]. https://youtu.be/MuLXLKcRi8Y

[5] Google for Developers. (2024). Curso intensivo de aprendizaje automático: incorporaciones [Video]. YouTube. https://youtu.be/my5wFNQpFO0

[6] Karlsen, E., Luo, X., & Zincir-Heywood, N. (2024). Benchmarking large language models for log analysis, security, and interpretation. https://link.springer.com/article/10.1007/s10922-024-09831-x

[7] Classification: Accuracy, recall, precision, and related metrics. Google for Developers. https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/accuracy-precision-recall

González, J. A., & Salazar, M. (2021). Detección de anomalías en registros de sistemas de información mediante técnicas de aprendizaje automático. Revista Iberoamericana de Tecnologías de la Información, 14(2), 55–68.

Ramírez, P., & López, A. (2022). Análisis de registros de seguridad utilizando aprendizaje automático híbrido. Revista Española de Ciberseguridad y Ciencia de Datos, 5(1), 77–93.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Un Asistente Virtual como soporte Académico en una Carrera Informática de la UNSL.

**Sanchez Rodriguez, Juan Manuel**
**Mg. Ing. Corina Natalia Abdelahad**
**Dr. Ing. Carlos Humberto Salgado**
***Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales.***

**Abstract**
*Este trabajo presenta el desarrollo de un asistente virtual como soporte académico para estudiantes de carreras de informática. La propuesta surge ante la dificultad que enfrentan muchos estudiantes al planificar exámenes finales, debido al desconocimiento sobre correlatividades, vencimientos de regularidad y estrategias de avance en el plan de estudios. El sistema se implementa como una aplicación web que determina el orden óptimo de exámenes a rendir, considerando múltiples criterios tales como correlativas, vigencia de regularidades y antecedentes estadísticos obtenidos de experiencias previas de otros estudiantes. Asimismo, incorpora un módulo de generación de estadísticas que permite a estudiantes y docentes acceder a información visual y sintetizada sobre el desempeño académico en los exámenes finales, favoreciendo el análisis y la toma de decisiones. La herramienta, además, promueve la interacción y colaboración entre estudiantes mediante funcionalidades orientadas al estudio conjunto. Su diseño contempla compatibilidad con el sistema SIU-guaraní y estructuras típicas de planes de estudio, lo que posibilita su extensión a otras carreras y universidades. Los beneficios esperados incluyen un mejor aprovechamiento del tiempo de estudio, mayor eficiencia en la trayectoria académica y la disponibilidad de información estadística valiosa para toda la comunidad universitaria.*

**Palabras Clave**
Asistente virtual; sugerencias académicas; historial universitario; exámenes finales; estadísticas académicas; organización colaborativa.

## Introducción

En el ámbito universitario, la planificación de exámenes finales constituye una de las principales dificultades a las que se enfrentan los estudiantes, en particular en carreras de informática caracterizadas por una estructura académica extensa y con múltiples correlatividades. La ausencia de información centralizada sobre el desempeño estudiantil, tanto individual como colectivo, provoca que gran parte de ese conocimiento permanezca restringido a fuentes informales. Actualmente, los estudiantes acceden a estos datos principalmente a través de los comentarios de estudiantes o mediante la información que difunden los centros de estudiantes, la cual no siempre resulta clara, completa ni actualizada. Esta situación limita la posibilidad de tomar decisiones fundamentadas y de disponer de indicadores confiables sobre la realidad académica. El presente trabajo aborda esta problemática mediante el desarrollo de un sistema web concebido como un asistente virtual de apoyo académico. Su propósito principal es brindar a los estudiantes una herramienta que facilite la planificación de sus trayectorias de examen, al mismo tiempo que provea información estadística de utilidad para la comunidad docente. A diferencia del panorama actual, donde los datos permanecen dispersos o implícitos, la propuesta se orienta a la centralización y sistematización de la información vinculada al rendimiento en exámenes finales. La solución fue construida bajo un enfoque de ingeniería de software ágil atravesado por calidad industrial del software, incorporando las etapas fundamentales de captura de requisitos, análisis, diseño, implementación y pruebas. Esta metodología permitió garantizar un desarrollo iterativo y adaptable, en consonancia con las necesidades detectadas. El documento se organiza de la siguiente manera: en la primera sección se expone el contexto y los objetivos del proyecto; posteriormente se describe la metodología aplicada; más adelante se detallan los principales resultados alcanzados y, finalmente, se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



presentan las conclusiones y las perspectivas futuras de la investigación.

**Desarrollo**

El trabajo se llevó a cabo considerando como eje central la utilidad práctica de la herramienta, con el propósito de ofrecer a los estudiantes un acceso ágil, claro y confiable a la información vinculada con su trayectoria académica. Para ello, se adoptó un enfoque de ingeniería de software ágil, incorporando las etapas fundamentales del proceso de desarrollo.

Captura de requisitos

La primera instancia consistió en la recolección de necesidades y expectativas de los futuros usuarios. Se realizaron entrevistas con estudiantes, docentes y la decana de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, lo que permitió identificar como principales demandas: disponer de sugerencias objetivas sobre exámenes finales, centralizar información de desempeño, fomentar la colaboración entre pares y contar con estadísticas claras sobre las experiencias de examen. Esto dio como resultado las figuras 1 y 2, los modelos de casos de uso y dominio respectivamente en lenguaje UML [2].

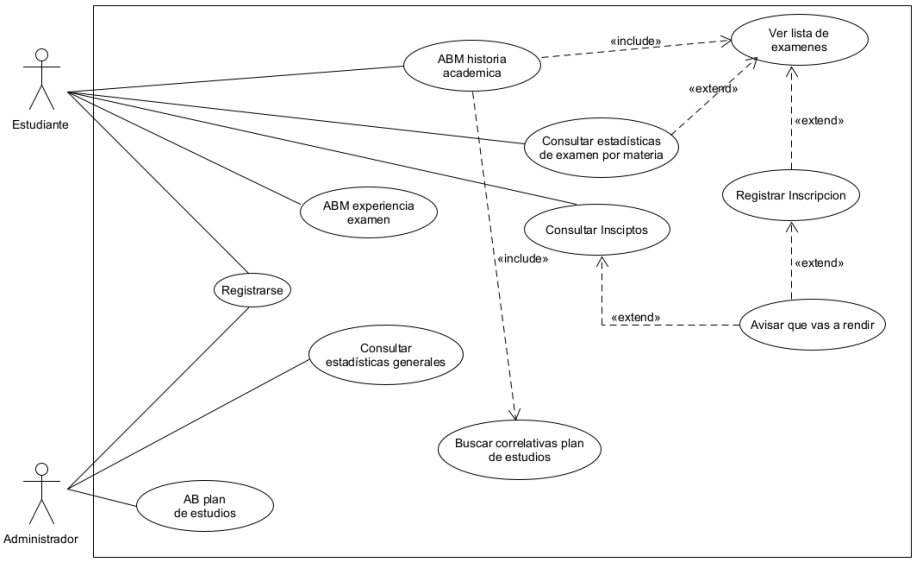



Figura 1: Modelo de Casos de Uso

Análisis

Con los requisitos recopilados, se efectuó un análisis que determinó la conveniencia de diseñar una aplicación web capaz de procesar la historia académica de cada estudiante. En este punto, se reconoció al sistema SIU guaraní como una pieza clave, ya que posibilita la descarga del historial académico en un archivo digital. De este modo, el estudiante solo debe cargar dicho archivo al sistema para que la aplicación disponga de toda la información necesaria para generar sugerencias y estadísticas.

Diseño

El diseño del sistema se orientó a una arquitectura web que facilitará la escalabilidad y la interacción intuitiva del usuario. Se definió una estructura que, a partir de la lectura de la historia académica, permitiera:

* Generar sugerencias sobre los próximos exámenes finales a rendir.
* Registrar experiencias personales de los estudiantes en cada examen.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



* Inscribirse en instancias para estudio colaborativo.

* Visualizar estadísticas vinculadas al rendimiento en distintas asignaturas de las carreras de informática.

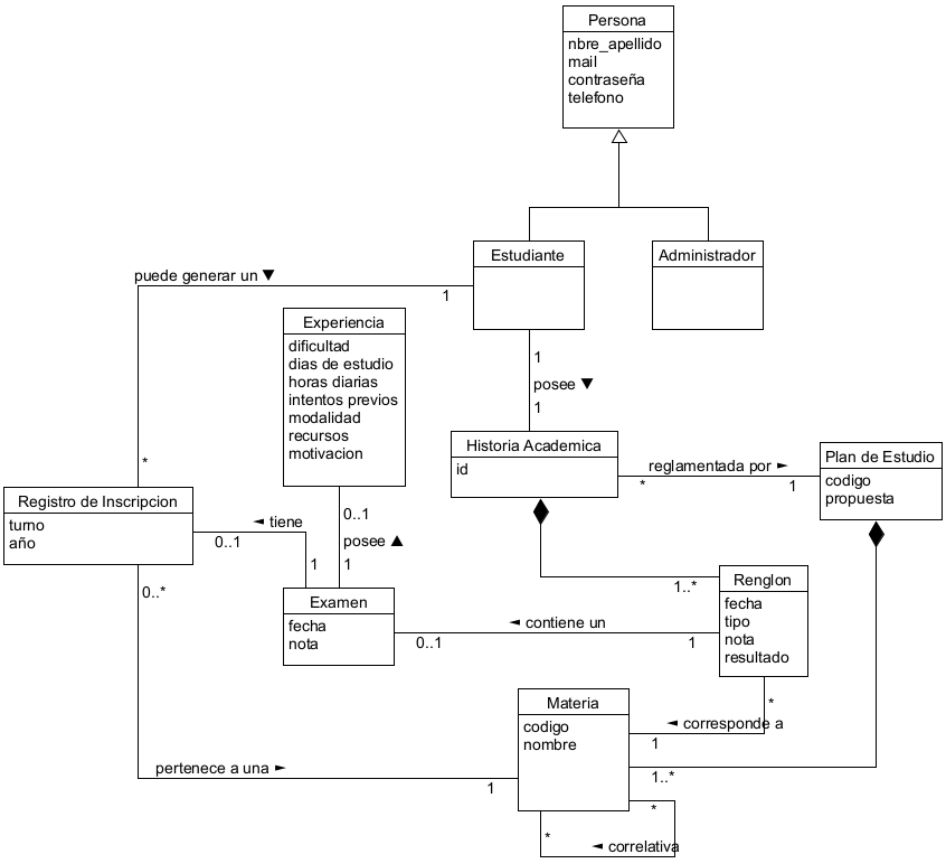



Figura 2: Modelo de dominio

Implementación

La implementación se realizó bajo el esquema Modelo-Vista-Controlador (MVC) [3]. El backend se desarrolló en Java [4] utilizando el framework Spring Boot [5], mientras que el frontend se construyó en React [6] combinado con Next.js [7], consumiendo los servicios provistos por el backend. Para la persistencia de la información se empleó una base de datos relacional en Supabase [8], lo que permitió una gestión eficiente y segura de los registros vinculados a historiales académicos, experiencias de examen y datos estadísticos. Esta configuración garantiza la modularidad, escalabilidad y claridad en la interacción entre los distintos componentes del sistema. Todo esto se puede observar claramente en la figura 3.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



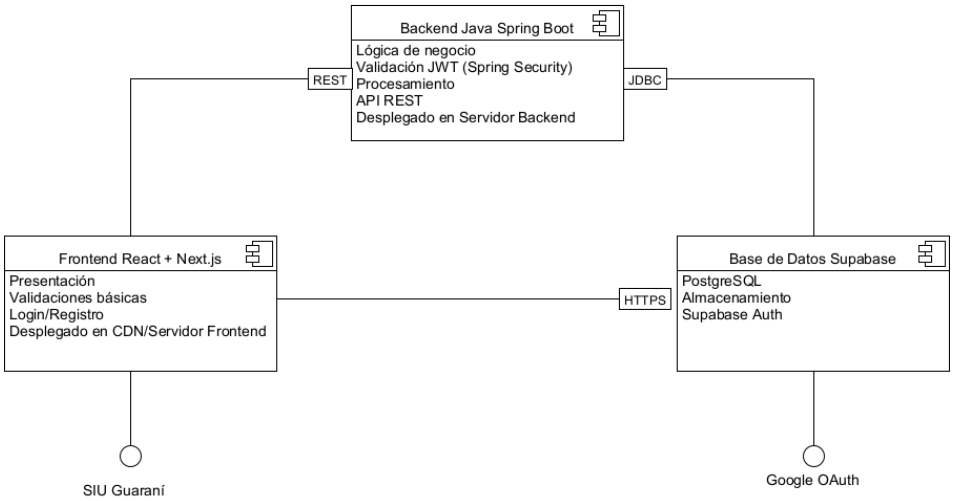



Figura 3: Modelo de Componente y Conectores.

Pruebas y validación

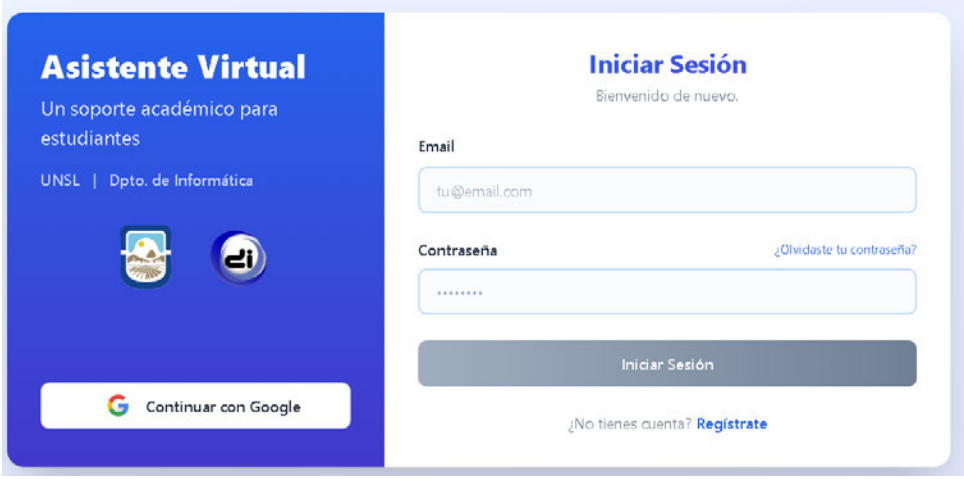
La validación del sistema se efectuó mediante historias de usuario y pruebas funcionales, garantizando que las funcionalidades respondieran de manera satisfactoria a los requisitos planteados. Los escenarios de prueba incluyeron desde la carga de historias académicas hasta la correcta generación de estadísticas y sugerencias de exámenes objetivas.

Despliegue y difusión

Una vez implementado y validado, el sistema fue desplegado en servidores gratuitos en una primera instancia para pruebas, lo que permitió un acceso abierto para los estudiantes. En la figura 4 podemos ver la pantalla de acceso al sistema y en la figura 5 se muestra la pantalla principal del sistema, donde se observa su funcionamiento. En este caso, con la historia académica cargada, las materias se ordenan por correlativas para indicar cuál rendir primero, brindando así una mejor orientación al estudiante. Además, el orden puede modificarse según fecha de vencimiento o estadísticas. La difusión se realizó principalmente a través de redes de los centros de estudiantes y de los propios estudiantes usuarios, lo que favoreció tanto su utilización como la retroalimentación para mejorar la calidad de los datos y estadísticas. En la figura 6 vemos algunas estadísticas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figuras 4: Captura del login del sistema




Figura 5: Pantalla principal de recomendación del sistema.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



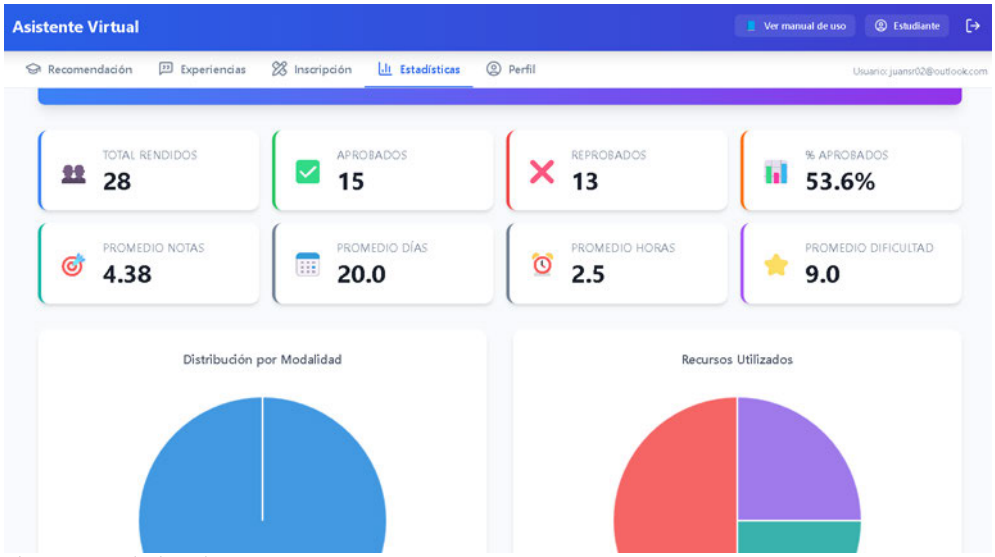


Figura 6: Estadísticas de un examen.

**Trabajos Relacionados**

Hasta donde sabemos, no se identificaron antecedentes directos que aborden la problemática de centralizar y sistematizar información académica relacionada con la planificación de exámenes finales y el análisis estadístico del desempeño estudiantil en carreras de informática. La información disponible actualmente se encuentra dispersa, ya sea en la memoria individual de los docentes, en el intercambio informal entre estudiantes o, en algunos casos, a través de comunicados de los centros de estudiantes.

La única herramienta institucionalmente utilizada es el sistema SIU guaraní, que cumple la función de gestionar la administración académica y permite la descarga de registros de cursada y exámenes. Sin embargo, este sistema no contempla funcionalidades de análisis estadístico ni de orientación para la toma de decisiones académicas, lo que genera un vacío en cuanto al acompañamiento efectivo de los estudiantes en su trayectoria.

En este sentido, el presente trabajo constituye una propuesta novedosa, ya que se orienta a complementar la infraestructura existente mediante la incorporación de un asistente virtual que, a partir de los datos provistos por SIU guaraní, ofrece sugerencias, centraliza experiencias estudiantiles y genera estadísticas de utilidad tanto para estudiantes como para docentes.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

La implementación del asistente virtual permitió comprobar su utilidad práctica en la comunidad estudiantil, ofreciendo un apoyo significativo en la toma de decisiones respecto de los exámenes finales. A partir de la difusión de la herramienta y del uso efectivo por parte de los estudiantes, se observó una mejora en la planificación académica, una mayor visibilidad de estadísticas relacionadas con el rendimiento y un incentivo al estudio colaborativo. Estos resultados validan la pertinencia de centralizar y sistematizar información que hasta el momento se encontraba dispersa o limitada a canales informales.

No obstante, el alcance del sistema presenta limitaciones. Actualmente, se encuentra disponible únicamente para determinadas carreras, lo que restringe su impacto a un grupo acotado de usuarios. Asimismo, el análisis se centra exclusivamente en los exámenes finales, sin contemplar aspectos adicionales como la cursada, las materias

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



promocionadas u otros elementos del régimen académico.

En función de estas restricciones, se plantean como trabajos futuros la extensión del sistema a todas las carreras de la institución, así como a universidades que utilicen el sistema SIU guaraní. Además, se prevé la incorporación de nuevas funcionalidades que contemplen el seguimiento de cursadas, la integración de materias promocionadas y la ampliación de los indicadores estadísticos disponibles. De este modo, el sistema podría evolucionar hacia una plataforma integral de acompañamiento académico, con impacto positivo tanto en la experiencia de los estudiantes como en la gestión de información para los docentes y las instituciones.

**Agradecimientos**

Agradecemos a todos los que aportaron información, opiniones, guía y apoyo para la realización de este trabajo. Gracias a todos los compañeros, docentes, no docentes y autoridades de la UNSL.

**Referencias**

[1] Sistema de Información Universitaria (SIU) – SIU-Guaraní. Disponible en: [https://www.siu.edu.ar/](https://www.siu.edu.ar/) [Último acceso: octubre 2025].

[2] OMG – Object Management Group. *Unified Modeling Language (UML), Version 2.5.1*. Disponible en: [https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1](https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1) [Último acceso: octubre 2025].

[3] MVC - Modelo Vista Controlador. Disponible en: [https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/MVC](https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/MVC) [Ultimo acceso: octubre 2025]

[4] Oracle – Java Platform. Disponible en: [https://www.java.com](https://www.java.com) [Último acceso: octubre 2025].

[5] Spring.io – Spring Framework. Disponible en: [https://spring.io](https://spring.io) [Último acceso: octubre 2025].

[6] Meta – React. Disponible en: [https://react.dev](https://react.dev) [Último acceso: octubre 2025].

[7] Vercel – Next.js Framework. Disponible en: [https://nextjs.org](https://nextjs.org) [Último acceso: octubre 2025].

[8] Supabase – Open Source Firebase Alternative. Disponible en: [https://supabase.com](https://supabase.com) [Último acceso: octubre 2025].

**Datos de Contacto:**

*Juan Manuel Sanchez Rodriguez.*
*Universidad Nacional de San Luis.*
*Barrio Portal de la aguada Mza C Casa 12.*
*juansr02@outlook.com.*

*Corina Natalia Abdelahad.*
*Universidad Nacional de San Luis.*
*Ejercito de los Andes 950, San Luis.*
*cabdelah@unsl.edu.ar*

*Carlos Humberto Salgado.*
*Universidad Nacional de San Luis.*
*Ejercito de los Andes 950, San Luis.*
*csalgado@email.unsl.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Herramienta integrada para la captura de tráfico de aplicaciones móviles en Android

*Alexis J. Carnero, Ignacio Gazzia*
*alexisjcarnero@gmail.com, ignaciogazzia73@gmail.com*

*GISSIC - Grupo de Investigación en Seguridad de Sistemas de Información y Ciberseguridad. / Laboratorio de Sistemas / Dpto. de Ingeniería en Sistemas / Universidad Tecnológica Nacional / Facultad Regional Córdoba*
*Av. Cruz Roja S/N, 5016*

## Resumen

*El análisis dinámico de aplicaciones móviles requiere, en gran parte, destinar esfuerzo a la inspección de tráfico web entre aplicación y servidor para encontrar vulnerabilidades y comprender el funcionamiento de los flujos de la aplicación. Para realizar este proceso, se debe tener en cuenta que las aplicaciones están desarrolladas en distintos lenguajes de programación, con distintos frameworks (marcos de trabajo), para distintas plataformas, y además poseen ciertas protecciones para evitar que un intermediario intercepte esa comunicación entre cliente y servidor. En este punto, los Pentesters (Profesionales de la Ciberseguridad) se encuentran con dificultades que deben sortear manualmente y con herramientas automatizadas, pero éstas no cubren todas las expectativas, ya que comúnmente requieren de pasos adicionales y, algunas veces, extensos, para lograr que la intercepción sea exitosa. Ciertas herramientas sólo brindan cobertura para aplicaciones en dispositivos rooteados (es decir, con privilegios de administrador); otras, para ciertos frameworks de desarrollo, o bien, ciertas versiones y tipos de sistema operativo.*

*Es por ello que nace este proyecto, el cual pretende reunir técnicas y herramientas usadas en el flujo habitual de trabajo del Pentester, automatizando procesos de instalación, de configuración y análisis para que sirvan como abanico de posibilidades en un único lugar, agilizando la tarea de interceptar tráfico en las aplicaciones móviles y permitiendo un manejo más eficiente del tiempo.*

## Introducción

Hablemos brevemente sobre la importancia de la Ciberseguridad. Todos los días se encuentran vulnerabilidades nuevas. En 2023 se encontraron 551 vulnerabilidades en dispositivos con sistema operativo Android, en 2024 se encontraron 195 y en lo que va del 2025 se encontraron 131 según las estadísticas de www.nist.gov, una fuente de información abierta sobre vulnerabilidades y exposiciones comunes (NVD, por sus siglas en inglés: National Vulnerability Databases) [1].

En cuanto al sistema operativo iOS, se detectaron 344 vulnerabilidades en 2023, 449 en 2024 y 335 en lo que va de 2025 [2].

Entre los impactos más señalados de las vulnerabilidades en estos últimos años encontramos:

- Ejecución remota de código
- Elevación de privilegios
- Denegación de servicio
- Exposición de información

La irrupción de la inteligencia artificial ha traído beneficios y riesgos para la ciberseguridad a nivel global, incluyendo la automatización de análisis de amenazas y detección temprana de ataques. Sin embargo, también ha facilitado la creación de malware avanzado, campañas de phishing más persuasivas y ataques automatizados a gran escala. Además, las organizaciones deben implementar políticas de uso ético y seguro de IA, capacitar a sus equipos en defensa contra amenazas potenciadas por algoritmos y adoptar sistemas que protejan datos sensibles ante modelos que aprenden de grandes volúmenes de información [3].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Según el Reporte Anual sobre Crimen en Internet del 2024 del FBI, las pérdidas económicas de ese año ascendieron a $16.6 billones dólares, un aumento del 33% comparado con el 2023 [4].

Volviendo al tema de aplicaciones móviles, por ejemplo, FlixOnline. Es una aplicación con un servicio falso que pretende permitir a los usuarios ver contenido de Netflix de todo el mundo en sus teléfonos móviles, sin embargo, la aplicación está diseñada para monitorear las notificaciones de WhatsApp y enviar respuestas automáticas a los mensajes entrantes del usuario utilizando un contenido que recibe de un servidor de C&C [5]. C&C o Command and Control, también conocida como C2 es un conjunto de herramientas y técnicas que los atacantes utilizan para mantener comunicación con dispositivos comprometidos. Es una de las 11 tácticas definidas por el marco MITRE ATT&CK. La forma en que un atacante establece control sobre un dispositivo comprometido varía según la estructura de la red y las defensas de la víctima. La táctica C&C contiene 16 técnicas. Un ejemplo reciente de aplicación de C&C en computadoras personales, es el incremento de criminales que usan Telegram, aplicación de mensajería instantánea, para el control usando un nuevo malware llamado ToxicEye, descubierto recientemente [6].

Otro ataque, no tan reciente, pero no por ello menos utilizado, es el del tipo man-in-the-middle. Este ataque se ha dado mucho en aplicaciones web y explota el hecho de que el servidor HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) [16] envía un certificado con su clave pública al navegador web.

Si este certificado no es confiable, toda la comunicación es vulnerable [8]. Reemplaza el certificado original que autentica al servidor HTTPS servidor con un certificado modificado. El ataque tiene éxito si el usuario se niega a verificar el certificado cuando el navegador envía una notificación de advertencia. Esto ocurre con demasiada frecuencia, especialmente entre los usuarios que con frecuencia encuentran certificados autofirmados al acceder a sitios de intranet. De esta forma, el atacante puede interceptar y “escuchar” mensajes de terceros [9].

Estos ejemplos de vectores y tácticas de ataques exponen la urgente necesidad de ejecutar pruebas de penetración a aplicaciones móviles antes de que estas salgan al mercado. Si bien estas pruebas no aseguran que las aplicaciones sean o no vulneradas eventualmente, reducen los riesgos de poner a disposición una aplicación móvil con vulnerabilidades ya conocidas.

Actualmente, la mayoría de los sistemas de información incluyen aplicaciones móviles dentro de su solución. Por lo tanto, estas también tienen que ser analizadas e incluidas dentro de las pruebas de seguridad realizadas al sistema.

Año tras año cobran relevancia los distintos ataques sofisticados hacia aplicaciones móviles, principalmente aquellas utilizadas para operaciones financieras, ya que el atacante busca un rédito económico al vulnerar cuentas bancarias. Pero es importante mencionar que las aplicaciones móviles están conformadas por distintos tipos de componentes, y en cada uno de ellos las vulnerabilidades son particulares de acuerdo con la programación, ejecución y uso requeridos en todo el flujo aplicativo.

El investigador, por lo general, realiza dos tipos de análisis de tráfico: pasivo y activo.

- Análisis pasivo: no se realiza intercepción activa con la aplicación. Lo que se pretende es capturar todos los paquetes de red para luego abrirlos con software de análisis de red, como Wireshark, y luego intentar encontrar vulnerabilidades en la aplicación a través de dicho análisis.

- Análisis activo: el investigador intercepta activamente toda la comunicación de red, pudiendo analizar, interactuar, modificar los datos en ese preciso instante. Aquí se utiliza generalmente un proxy web y todas las llamadas hechas y recibidas por la aplicación y el servidor pasan a través de este [16].

El presente proyecto hace hincapié en facilitar, mediante una sola herramienta, las técnicas de análisis activo, que bien pueden servir para un análisis pasivo.

La creación de esta herramienta es parte del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



proyecto de esta herramienta está inserta dentro del proyecto homologado “FRAMEWORK DE INTERCEPCIÓN DE TRÁFICO DE APLICACIONES MÓVILES EN ANDROID Y IOS”, bajo el código SIECCO0008704.

Si bien existen distintos componentes de las aplicaciones móviles que contienen vulnerabilidades por configuraciones no recomendadas, uso de librerías obsoletas o que poseen vulnerabilidades conocidas, el proyecto se enfoca en facilitar la captura de tráfico para que el investigador pueda analizar vulnerabilidades de la capa backend que interactúa con la aplicación.

**Desarrollo**

Después de una categorización profunda de las técnicas y herramientas actuales se ha observado como una necesidad a cubrir por este proyecto, el hecho de que el investigador requiere combinar varias de las herramientas mencionadas para un análisis básico, debiendo incurrir en diferentes pasos para conseguir el objetivo. Por ejemplo:

- BurpSuite [10]: requiere de la descarga del certificado desde su propia interfaz o bien, desde la URL http://burpsuite; la modificación de la extensión de dicho certificado, y la posterior instalación manual en el dispositivo.

- Frida [11]: implica la instalación manual y ejecución de un agente en dispositivo rooteado, y luego correr el script para saltar la protección de SSL Pinning [22]. No todos los scripts que se encuentran en la web deshabilitan los métodos implementados en la aplicación, por lo que es importante contar con un script que cubra la mayoría de las librerías y métodos para deshabilitar esta protección.

- Objection [12]: requiere modificar la aplicación, generar otra a la que se le inyecta un gadget de Frida, e instalarla en el dispositivo. Luego, correr el comando en terminal y abrir la aplicación. Entonces, en la sesión de la herramienta en terminal, correr algún script que deshabilite los mecanismos de SSL pinning. La ventaja es que esta herramienta funciona con dispositivos rooteados o no rooteados.

- reFlutter [13]: también implica modificar la aplicación original para generar otra, y además el puerto de proxy ya viene determinado, por lo cual deberá configurar el proxy en escucha en el mismo puerto que indica reFlutter, y en el dispositivo móvil también.

A estos puntos se le suma el hecho de que funcionan de manera óptima en plataformas como Linux / MacOS, pero tienen algunas carencias o fallas al ejecutarlas en Windows.

Se ha iniciado una etapa de refinamiento del framework con el objetivo de abarcar la mayor cantidad de casos posibles en la tarea de los pentesters, teniendo en cuenta que cada dispositivo, aplicación y entorno de pruebas conforma una casuística distinta para el investigador de ciberseguridad.

Se ha avanzado en el desarrollo del framework, generando un menú integrado de herramientas como:

- adb (Android Debug Bridge) [18]: Utilidad de línea de comandos que permite comunicar la PC con un dispositivo Android para depuración, instalación de apps, acceso a la shell, transferencia de archivos, etc.

- apktool [17]: Herramienta para descompilar y recompilar APKs (“Android Package Kit” - formato de archivo que contiene una aplicación Android, similar a un “.exe” en Windows, incluyendo código, recursos, librerías y manifiesto de la app) [18], permitiendo analizar recursos, modificar código Smali y volver a empaquetar la app.

- Objection [11]: Framework de seguridad móvil basado en Frida, que permite instrumentar apps en tiempo de ejecución (sin modificar el APK), para pruebas dinámicas como bypass de root detection, SSL pinning, análisis de almacenamiento, etc.

De las cuales se han automatizado tareas como:

- Instalación de los requerimientos de la herramienta a través de un script de seteo. Este punto es importante, ya que ahorra en tiempo y esfuerzo la configuración manual de cada una de las librerías y herramientas requeridas en el sistema.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Obtención e instalación del certificado de proxy en el dispositivo.

- Detección del tipo de sistema operativo (Android), arquitectura y estado root.

- Descarga de APKs desde el dispositivo.

- Detección de la estructura de APKs a través de “patch-apk”, para determinar si está subdividida en varias partes y requiere de unificación.

- Decompilado de APKs.

- Modificación de las configuraciones de seguridad en el archivo network_security_config.xml.

- Compilación y firma de la aplicación modificada.

- Instalación de la aplicación modificada en el dispositivo, tanto la modificada mediante el agregado del archivo de configuración de red, como la aplicación modificada mediante Objection.

- Interacción con Objection para conectar con la sesión en el dispositivo.

- Instalación y ejecución del agente de Frida en el dispositivo rooteado.

- Técnicas de Bypass de SSL Pinning a través de un script que deshabilita los métodos comunes utilizados en las aplicaciones móviles, mediante Objection y Frida, alternativamente.

Actualmente, se está avanzando en la identificación de casos de falla para su corrección y manejo, de cara al usuario final que interactúa con la herramienta.

Esta etapa de identificar casos de falla requiere un diseño del manejo de salidas y errores de cada herramienta que se quiera usar en este framework, ya que cada herramienta es distinta y sus salidas/errores también lo son. Entre estas herramientas podemos mencionar Frida, Objection, reFlutter, entre otras, que serán ofrecidas como abanico de opciones en la herramienta de este proyecto, además de la posibilidad de automatizar el proceso inicial de instalación del certificado de proxy en el dispositivo.

La arquitectura del proyecto, como se muestra en la Figura 1, fue planteada de la siguiente manera:

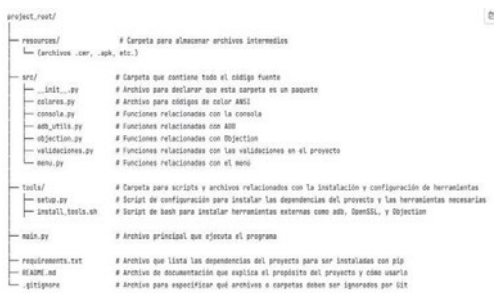



**Figura 1. Arquitectura del proyecto**

Para ejecutar la herramienta, el primer paso consiste en realizar lo siguiente:

1. Clonar el repositorio.
2. Crear un entorno virtual de Python, según la plataforma (MacOS, Linux, Windows).
3. Instalar dependencias mediante script automatizado
4. Instalar herramientas necesarias mediante el script de automatización (setup).
5. Ejecutar el archivo principal del proyecto.

*python3 main.py*

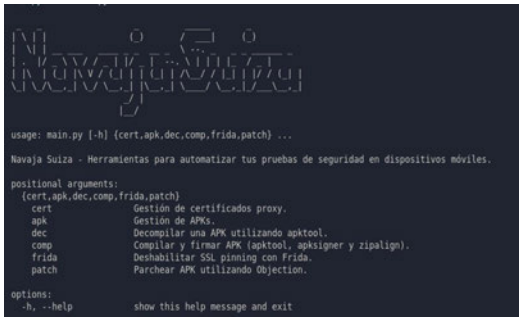



**Figura 2. Pantalla principal.**

Se agruparon las funcionalidades en el menú de opciones, como se observa en la Figura 2. El proceso de automatización, fundamental para avanzar con la intercepción del tráfico, se ha implementado mediante la sección “Gestión de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



certificados". Actualmente, esta área incluye las siguientes opciones, que se muestran en la Figura 3:

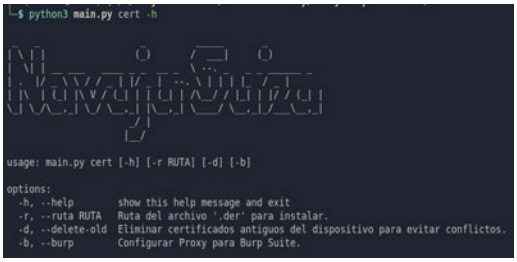



**Figura 3. Pantalla gestión de Certificados.**

También se dispone de la opción de "Gestión de APKs" (Figura 4), la cual permite realizar diversas acciones directamente con las APK instaladas o por instalar en el dispositivo.

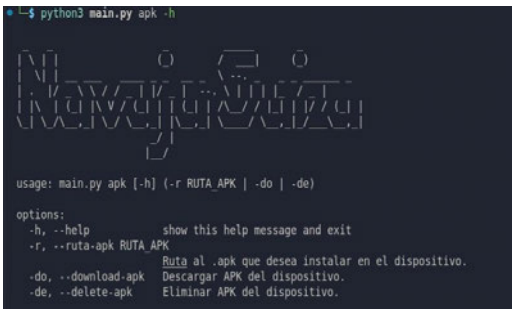



**Figura 4. Pantalla gestión de APK**

Actualmente, las opciones disponibles permiten:

- Opción "-r": permite instalar una APK, pasando su ruta absoluta como parámetro, en uno de los dispositivos seleccionados.

- Opción "-do": a partir de esta opción se listan todas las APK instaladas en el dispositivo, y luego se permite seleccionar aquella que se quiera descargar.

- Opción "-de": permite eliminar una APK que se encuentre instalada en el dispositivo.

Además, como parte de la gestión de archivos APK, se incorpora la posibilidad de detectar si existen splits en el dispositivo, para luego poder unificarlos mediante la herramienta patch-apk.

Dichas opciones van a permitir:

- Opción "-r": almacenar un certificado de extensión (.der) directamente en el dispositivo. En caso de tener más de uno conectado, se permitirá seleccionar en cuál de ellos instalar el certificado.

- Opción "-d": verificar y/o eliminar certificados instalados en el dispositivo móvil. En caso de haber más de un dispositivo conectado, se podrá seleccionar en cuál de ellos se realizará la acción.

- Opción "-b": facilita la configuración del proxy, en este caso BurpSuite, de manera fácil y rápida, ya sea un solo dispositivo o en múltiples dispositivos conectados.

Tenemos la opción de decompilar un APK mediante "apktool", para poder analizar su comportamiento interno, identificar vulnerabilidades y entender su lógica (Figura 5).

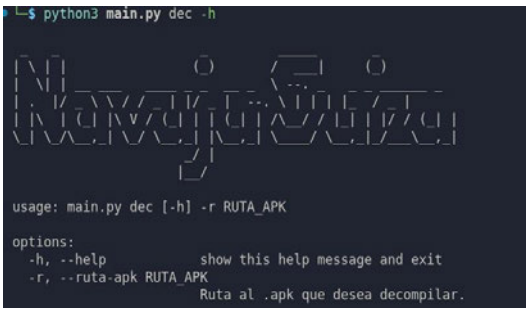



**Figura 5. Pantalla decompilar un APK.**

- Opción "-r": permite decompilar el APK, pasando su ruta absoluta como parámetro.

Otro caso analizado, fue el de recompilar y firmar el APK para luego volver a instalarlo en el dispositivo, usando las herramientas "apktool" para la compilación, "jarzigner" para el firmado del mismo y "zipalign" para la optimización del nuevo APK (Figura 6).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



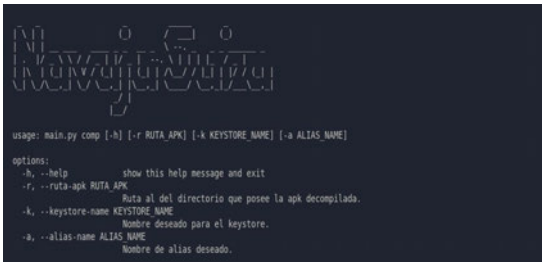



**Figura 6. Pantalla decompilar y firmar un APK.**

- Opción “-r”: nos permite compilar el APK, pasando como parámetro la ruta absoluta del mismo.

Se ha incorporado la herramienta Objection para inyección del gadget de Frida que permite la interacción entre comandos Linux y la propia aplicación, pudiendo no sólo romper el mecanismo de SSL pinning, sino también interceptar las funciones del código de la APK en tiempo de ejecución. El objetivo es lograr la manipulación de objetos y funciones en memoria. Cuando el bypass de SSL pinning por sí solo no funciona, se debe recurrir al mecanismo de hooking de las funciones mismas para modificar los valores de retorno manualmente, logrando la intercepción de tráfico luego.

Frida ha sido una de las mejores incorporaciones para este proyecto, ya que su compatibilidad con las plataformas y dispositivos permite al investigador desarrollar diversos scripts que luego se ejecutarán para manipular las aplicaciones. Existen diversidad de scripts enfocados al bypass de SSL pinning, pero el más utilizado por su efectividad es llamado “frida_multiple_unpinning.js”. Cubre diferentes funciones posiblemente utilizadas por los desarrolladores para proteger el tráfico de la aplicación, pero con este script se busca deshabilitarlas. Al incorporar Frida y Objection como herramientas base de nuestro proyecto, el investigador solamente debe decidir cuál desea utilizar, y se ejecutará dicho requerimiento sin necesidad de realizar configuraciones extras (Figura 7).

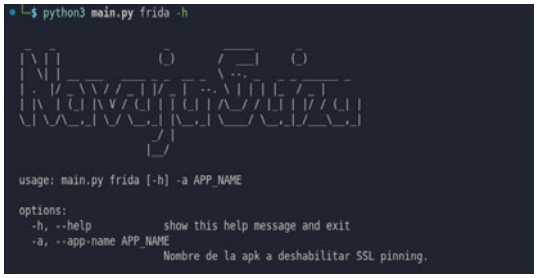



**Figura 7. Pantalla deshabilitar SSL Pinning.**

- Opción “-a”: permite deshabilitar el SSL Pinning del APK deseado pasando el nombre de este.




**Figura 8. Pantalla parchear un APK.**

En la Figura 8 se muestra la pantalla que permite parchear un APK:

- Opción “-r”: permite parchear el APK deseado, pasando como parámetro la ruta absoluta del mismo.

En todas las funcionalidades, el parámetro “-h” nos devuelve una descripción de cómo se usa la misma.

Para las pruebas del framework tuvimos en cuenta que no siempre se tiene un dispositivo físico extra a mano y que, además de esto, muchas veces es necesario realizar dichas pruebas en diferentes versiones del sistema operativo, lo que haría necesario una mayor cantidad de dispositivos. Por estas y otras razones decidimos utilizar un emulador de dispositivos móviles. Definido esto comprendimos la búsqueda de la herramienta que mejor se adapte a nuestras necesidades.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Investigamos sobre los emuladores de Android más utilizados en el mercado actualmente y, luego de un análisis y descarte, nos quedaron dos opciones: Genymotion y Android Studio Emulator.

Para la decisión final realizamos un análisis aún más fino y probamos cada una de las opciones. Daremos una descripción breve de nuestras impresiones, de ambas y qué nos llevó a elegir una por sobre la otra:

- Android Studio Emulator [20]: Al ser el emulador oficial de Google, tiene una alta compatibilidad con la mayoría de APIs y librerías, e incluso permite emular versiones futuras de Android antes de que sean lanzadas. A su vez tiene actualizaciones más frecuentes, es gratuito y de código abierto. Este emulador también viene integrado a Android Studio, IDE oficial de Google especializado para el desarrollo en Android, por lo que puede ser una fuerte opción a la hora de desarrollar software. Pero en cuestiones referidas a Pentesting y Ciberseguridad, hemos encontrado que es bastante menos flexible, más lento y no tan optimizado en marcas o modelos reales. A la hora de rootear cada emulador, Android Studio no ofrece una vía directa para hacerlo, por lo que cada usuario deberá encontrar la forma exacta de hacerlo, para el dispositivo seleccionado, con una marca, modelo y versión de Android específica. Esto ralentiza el proceso de pentesting en diversos dispositivos Android.

- Genymotion [21]: Este emulador está más enfocado en testing y pruebas de ciberseguridad, permitiendo su ejecución en entornos aislados y controlados mediante VirtualBox, ideales para no comprometer nuestra máquina anfitriona. Busca la sencillez, facilidad de uso, rapidez en la creación de dispositivos virtuales, de los cuales tiene una cantidad considerable de modelos preconfigurados con diferentes versiones de sistema operativo, características que hemos encontrado muy positivas. También es menos exigente en el hardware que la otra opción nombrada anteriormente. Es gratuito para uso personal y pago para uso comercial, brindando a su vez más funciones, principalmente en la obtención de emuladores de dispositivos rooteados, algo que en Android Studio nos llevaría mucho más tiempo lograr.

Luego de la prueba de ambos, llegamos a la conclusión que el que mejor se adapta a las necesidades de nuestro proyecto es Genymotion. Encontramos que la mayoría de las pruebas que realizamos podemos hacerlas de forma rápida y sencilla utilizando la versión gratuita. Por otro lado, si optamos por la versión paga, Genymotion nos ofrece un amplio abanico de emuladores, con distintos modelos, marcas y versiones de Android que ya vienen rooteados y nos ahorran el tiempo de tener que rootearlos manualmente. Esto es una característica vital de la versión de pago, ya que nos permite refinar nuestro framework para dar soporte a más dispositivos virtuales, facilitando aún más la tarea de los pentesters en la intercepción del tráfico.

## Conclusiones

Como se ha mencionado, se busca crear una herramienta multiplataforma, es decir, que funcione tanto en Windows y Linux/GNU, por lo que seguir con Python ha sido la mejor opción. Como así también de código abierto.

Por otro lado, se habían realizado búsquedas y estudios sobre aplicaciones iOS, pero al analizar los tiempos y el presupuesto del proyecto se decidió realizar un enfoque sobre aplicaciones en Android, ya que se requiere la utilización de recursos de los cuales no se dispone en el proyecto, como la adquisición de un dispositivo iOS para pruebas. Sin embargo, varias de las herramientas incorporadas en el proyecto ya brindan soporte para intercepción de tráfico en iOS, por lo que, de alguna manera, las aplicaciones para dicha plataforma quedan cubiertas.

La versión desarrollada como MVP cumple con los objetivos básicos planteados:

- Detectar dispositivos conectados.
- Instalar certificados generados por el Proxy (BurpSuite).
- Obtener, decompilar y compilar, manipular APKs.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Parchear APKs con Objection.

- Correr el servidor de Frida en el dispositivo rooteado y realizar bypass de pinning de la aplicación.

- Correr Objection y realizar bypass de SSL pinning.

- Unificar manejo de APKs.

A medida que el programa logra determinar tanto el sistema operativo como su arquitectura, el mismo tomará ciertas decisiones como, por ejemplo, herramientas compatibles a ofrecer al usuario para avanzar con la intercepción de tráfico; técnicas de Bypass a aplicar o no según la versión de Android y las librerías de SSL Pinning halladas en la aplicación, entre otras. Determinar los posibles caminos en el flujo de trabajo de la herramienta del proyecto no es trivial, por lo que se continúa avanzando con la integración mediante un script en Python.

Cabe destacar que se han identificado ciertos obstáculos relacionados con el manejo de posibles errores, ya sea en el dispositivo, el host donde corre el proyecto, o la propia aplicación, por lo que el equipo se encuentra cubriendo las bifurcaciones halladas considerando los errores, entradas y salidas.

Como trabajo a futuro, queda incorporar reFlutter como herramienta extra. También se considera la posibilidad de que la herramienta pueda trabajar con diferentes “proxies”, y no solamente BurpSuite.

En resumen, la herramienta refleja un abanico de posibilidades para el investigador, facilitando su tarea y evitando inversiones de tiempo extra de instalación de herramientas por separado, configuraciones y corrección manual de errores en cada técnica que suele aplicar, por lo que la actividad de interceptar tráfico web en aplicaciones móviles se simplifica de sobremanera.

**Agradecimientos**

Se agradece al GISSIC – Grupo de Investigación en Seguridad de Sistemas de Información y Ciberseguridad y a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba por el apoyo institucional y los recursos técnicos brindados, que hicieron posible el desarrollo de este trabajo. Asimismo, se reconoce la colaboración de docentes e integrantes del grupo de investigación, cuyas sugerencias y aportes resultaron valiosos para enriquecer la presente investigación.

**Referencias**

[1] Google Android: Vulnerability Statistics https://nvd.nist.gov/vuln/search#/nvd/home?keyword=%22Android%22&resultType=statistics, última visita 12/08/2025.

[2] Apple Iphone Os – Vulnerability Statistics. https://nvd.nist.gov/vuln/search#/nvd/home?keyword=% 22iOS%22&resultType=statistics, última visita agosto 2025.

[3] MIT Technology Review:

https://www.technologyreview.com/2025/08/11/1121460/ meet-the-early-adopter-judges-using-ai/, última visita agosto 2025.

[4] Federeal Boreau of Investigation (FBI ), InternetCrime Report 2024: https://www.ic3.gov/AnnualReport/Reports/2024_IC3Report.pdf , última visita agosto 2025.

[5] Command and Control. MITRE. ATT&CK. https://attack.mitre.org/tactics/TA0011/, última visita agosto 2025.

[6] Hofman, O. Abril 2021. Remote access trojan exploits Telegram communications to steal data from victims and update itself to perform additional malicious activities. https://blog.checkpoint.com/2021/04/22/turning-telegram- toxic-new-toxiceye-rat-is-the-latest-to-use-telegram-for- command-control/, última visita agosto 2025.

[7] Hazum, A., Melnykov, B., Wenik, B. Abril 2021. Autoreply attack! New Android malware found in Google Play Store spreads via malicious auto-replies to WhatsApp messages. Check Point Software Technologies.

https://blog.checkpoint.com/2021/04/07/autoreply-attack-new-android-malware-found-in-google-play-store-spreads-via-malicious-auto-replies-to-whatsapp-messages/, última visita agosto 2025.

[8] Callegati, Franco & Cerroni, Walter & Ramilli, Marco. (2009). “Man-in-the-middle attack to the HTTPS protocol. Security & Privacy”, IEEE. 7. 78 - 81. 10.1109/MSP.2009.12, última visita agosto 2025.

[9] Hubbard, John & Weimer, Ken & Chen, Yu. (2014). A study of SSL Proxy attacks on Android and iOS mobile applications. 86-91. 10.1109/CCNC.2014.6866553, última visita agosto 2025.

[10] Burp Suite Community Edition. Página oficial https://portswigger.net/burp/communitydownload, última visita 19/04/2024.

[11] Frida. Página oficial https://frida.re/ , última visita

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



19/04/2024.

[12] Objection - Runtime Mobile Exploration. Repositorio de código https://github.com/sensepost/objection , última visita 19/04/2024.

[13] reFlutter. Página oficial. https://github.com/ptswarm/reFlutter , última visita 19/04/2024

[14] patch-apk - App Bundle/Split APK Aware Patcher for Objection https://github.com/NickstaDB/patch-apk, última visita 19/04/2024.

[15] "Learning pentesting for Android Devices". Aditya Gupta. Ed. Packt publishing, última visita agosto 2025.

[16] RFC 2616 HTTP: https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2616, última visita agosto 2025, última visita abril 2025

[17] Apktool - Página oficial: https://apktool.org/

[18] Adb - Página oficial de desarolladores de Android: https://developer.android.com/tools/adb, última visita agosto 2025.

[19] APK - Página oficial de desarolladores de Android: https://developer.android.com/ndk/guides/concepts, última visita agosto 2025.

[20] Genymotion: https://docs.genymotion.com/desktop/Get_started/014_Basic_steps/, última visita agosto 2025.

[21] Android Studio Emulator: https://developer.android.com/studio/run/emulator?hl=es-419, última visita agosto 2025.

[22] SSL Pinning – Breve resumen: https://www-indusface-com.translate.goog/learning/what-is-ssl-pinning-a-quick-walk-through/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge, última visita agosto 2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# De la Fortaleza al Individuo: Una Transición Estratégica del Perímetro de Seguridad a la Arquitectura Zero Trust

**Pujalte, Denise Macarena**

***Universidad Tecnológica Nacional UTN, Regional Resistencia, Chaco***

**Resumen**

*La Arquitectura de Confianza Cero (ZTA) surge como una respuesta estratégica a la obsolescencia del modelo de seguridad perimetral tradicional, el cual es ineficaz ante una fuerza laboral móvil, la diversidad de dispositivos y la adopción de la nube, factores que han disuelto los límites de la red. Este enfoque abandona la confianza implícita en la red interna, asumiéndola tan peligrosa como Internet, y neutraliza el movimiento lateral sin restricciones. Propuesta por el NIST, la ZTA se basa en el principio de "nunca confiar, siempre verificar", trasladando las defensas a usuarios, activos y recursos, con autenticación y autorización continuas y granulares para cada solicitud. Ejemplos como la iniciativa BeyondCorp de Google demuestran su aplicación práctica, eliminando la necesidad de VPNs tradicionales y basando el acceso en credenciales de dispositivo y usuario, independientemente de la ubicación.*
*Su valor estratégico radica en ser un habilitador de la agilidad empresarial moderna, permitiendo un acceso flexible y seguro que fomenta la productividad. Además, fortalece la resiliencia operativa mediante microsegmentación extensiva y automatización, y prepara a las organizaciones para asegurar tecnologías futuras como el IoT y entornos DevOps. Sin embargo, su implementación es un "viaje" gradual con desafíos como la integración con sistemas heredados, la falta de estandarización en interfaces y la dependencia de formatos propietarios. También existen brechas de conocimiento sobre la respuesta de los atacantes y la experiencia del usuario. A pesar de estos retos, la ZTA es indispensable para la ciberseguridad actual y futura, transformando la seguridad en un componente esencial del negocio.*

**Palabras Clave**
Arquitectura Zero Trust, Seguridad Perimetral, Ciberseguridad, Control de Acceso, Microsegmentación, Movimiento Lateral.

## Introducción

La evolución del panorama tecnológico, con la creciente fuerza laboral móvil y la adopción masiva de la nube, ha llevado el modelo tradicional de seguridad perimetral a un punto de redundancia. Concebida como un castillo medieval donde lo interno era implícitamente confiable, esta estrategia se ha vuelto insuficiente ante la amenaza del movimiento lateral, que permite a un atacante moverse sin restricciones una vez superada la barrera inicial. La experiencia de Google con su iniciativa BeyondCorp ha demostrado que la red interna es tan peligrosa como la Internet pública, haciendo inviable la confianza basada en la ubicación.

Como respuesta a esta nueva realidad, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) propuso la Arquitectura de Confianza Cero (ZTA), un paradigma que abandona la confianza implícita por el principio de "nunca confiar, siempre verificar". Este trabajo argumenta que la ZTA representa la transición estratégica indispensable para la ciberseguridad moderna, al trasladar las defensas desde perímetros de red obsoletos hacia la verificación continua de usuarios, activos y recursos. Para demostrarlo, se analizarán las limitaciones del modelo perimetral, se definirán los principios fundamentales de la ZTA y se evaluará su valor estratégico, así como los desafíos asociados a su adopción.

El presente trabajo de investigación se enmarca en el campo de la ciberseguridad, con un enfoque particular en las arquitecturas de seguridad de red de nueva generación. Se desarrolla como un estudio teórico independiente con el objetivo de realizar un análisis exhaustivo del paradigma de Confianza Cero (Zero Trust Architecture - ZTA), explorando sus

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



principios fundamentales, su valor estratégico y los desafíos asociados a su implementación en entornos tecnológicos modernos.

## 2. Limitaciones del Modelo de Seguridad Perimetral

### 2.1 La Disolución de la Fortaleza: Nube y Movilidad

El modelo tradicional de seguridad de perímetro es comparado con un *castillo medieval*, una fortaleza con muros gruesos y un punto de entrada y salida fuertemente custodiado [2]. En este modelo, todo lo que está fuera del muro se considera peligroso, mientras que todo lo que está dentro es de confianza. Sin embargo, este paradigma de seguridad se ha vuelto problemático y está siendo llevado al punto de la redundancia debido a varios factores:

- *La fuerza laboral móvil*

La llegada de empleados que trabajan fuera de las oficinas tradicionales ha complicado la aplicación del perímetro.

- *Diversidad de dispositivos*

El aumento en la variedad de dispositivos utilizados por los empleados también ha contribuido a esta complejidad, muchos de los cuales no son propiedad de la empresa.

- *Servicios basados en la nube*

La creciente adopción de servicios en la nube ha introducido vectores de ataque adicionales y ha desdibujado los límites del perímetro.

Como resultado, las suposiciones clave de este modelo ya no son válidas. *El perímetro ya no es solo la ubicación física* de la empresa y lo que está dentro del perímetro ya no es un lugar inherentemente seguro para alojar dispositivos personales y aplicaciones empresariales.

Para abordar estos nuevos desafíos, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) propuso la Arquitectura de Confianza Cero (ZTA) [4]. Esta arquitectura se diferencia de los modelos basados en el perímetro al establecer que todos los objetos son intrínsecamente no c onfiables por defecto, independientemente de su ubicación física. La confianza solo se obtiene mediante la autenticación de identidad y la evaluación continua de la confianza.

Google, por ejemplo, está adoptando un enfoque diferente a través de su iniciativa BeyondCorp [2]. Para neutralizar la amenaza del movimiento lateral, el modelo elimina la red privilegiada y basa su seguridad en un conjunto de controles interconectados: una red no privilegiada para aislar dispositivos, un proxy de acceso que centraliza y cifra las conexiones, y un motor de control de acceso que valida cada solicitud individualmente basándose en la identidad y el estado del dispositivo.

Gracias a este enfoque, la experiencia del usuario para acceder a los recursos de la empresa es prácticamente idéntica, tanto de forma local como remota, aparte de posibles diferencias de latencia.

### 2.2 El Movimiento Lateral: El Peligro Dentro de las Murallas

La vulnerabilidad más crítica del modelo perimetral es el *principio de confianza prolongada.* Una vez que un atacante logra autenticarse y traspasar las defensas iniciales, se le concede una confianza duradera que le permite moverse sin restricciones adicionales por la red interna, una técnica conocida como movimiento lateral [4].

La experiencia de Google ha demostrado que asumir la seguridad de la red interna es un error fundamental. En su lugar, se debe operar bajo la premisa de que la red interna es tan peligrosa como la Internet pública [2]. Para neutralizar la amenaza del movimiento lateral, el modelo BeyondCorp de Google se basa en un conjunto de controles interconectados que eliminan la necesidad de una red privilegiada. En lugar de una lista detallada de componentes, su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



estrategia se puede sintetizar en un enfoque de múltiples capas: se aísla a todos los dispositivos en una red no privilegiada por defecto; un proxy de acceso centraliza y cifra todas las conexiones a las aplicaciones; y, lo más importante, un motor de control de acceso dinámico valida cada solicitud individualmente basándose en la identidad del usuario y el estado del dispositivo. Este control granular en cada punto de acceso es lo que previene eficazmente el movimiento lateral no autorizado [2].

## 3. Arquitectura Zero Trust: Principios Fundamentales

La Arquitectura de Confianza Cero (Zero Trust Architecture- ZTA) es un paradigma de ciberseguridad en evolución que cambia el enfoque de las defensas de perímetros de red estáticos a la protección de usuarios, activos y recursos [1]. Se basa en el principio fundamental de que no se concede confianza implícita a ningún activo o cuenta de usuario basándose únicamente en su ubicación física o de red, o en la propiedad del activo. En cambio, la autenticación y autorización se realizan de forma discreta para cada sesión y solicitud de acceso a un recurso empresarial.

### 3.1 Principio I: Verificar Explícitamente [1]

Este principio se centra en la idea de que la confianza nunca se concede implícitamente y debe ser evaluada de forma continua y explícita. NIST lo subraya a través de varios de sus principios básicos:

- *Acceso por Sesión*

El acceso a los recursos individuales de la empresa se concede por sesión.

- *Autenticación y Autorización Dinámicas*

Toda autenticación y autorización de recursos son dinámicas y se aplican estrictamente antes de permitir el acceso.

- *Estado Observable.*

El acceso a los recursos se determina mediante políticas dinámicas, que incluyen el estado observable de la identidad del cliente, la aplicación/servicio y el activo solicitante, y puede incluir otros atributos de comportamiento y ambientales.

- *Múltiples Factores de Autenticación (MFA)*

Una empresa que implementa una ZTA debería utilizar MFA para el acceso a algunos o todos los recursos empresariales.

### 3.2 Principio II: Aplicar el Acceso con Privilegios Mínimos [1]

Este principio enfatiza que a los sujetos (usuarios, aplicaciones, servicios) solo se les debe otorgar el nivel de acceso mínimo necesario para realizar una tarea específica, y solo por el tiempo requerido.

- *Privilegios Mínimos por Solicitud*

ZT se define como un conjunto de conceptos para minimizar la incertidumbre al hacer cumplir decisiones de acceso precisas y de mínimos privilegios por solicitud en sistemas y servicios de información.

- *Restricción de Visibilidad y Accesibilidad*

El acceso debe otorgarse con los mínimos privilegios necesarios para completar la tarea. Esto significa que si un sujeto tiene acceso autorizado a un recurso, no se le concederá automáticamente acceso a otros recursos.

- *Granularidad de las Reglas de Acceso*

Las reglas de acceso se hacen tan granulares como sea posible para hacer cumplir los mínimos privilegios necesarios para realizar la acción en la solicitud.

### 3.3 Principio III: Asumir la Brecha [1]

Este principio fundamental postula que una organización debe operar bajo la premisa de que la red ya está comprometida o que un atacante ya está presente en el entorno. Por lo tanto, no se debe confiar implícitamente en ningún activo o cuenta de usuario basándose únicamente en su ubicación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Tabla 1. Comparación Modelo Perimetral vs Zero Trust.

| Característica | Modelo Perimetral (Castillo y Foso) | Arquitectura Zero Trust |
|---|---|---|
| Confianza Principal | Basada en la ubicación de la red (dentro = confiable) | Basada en la identidad (usuario + dispositivo) |
| Enfoque de Seguridad | Proteger el perímetro de la red | Proteger cada recurso individualmente |
| Verificación | Una sola vez, en el punto de entrada | Continua, en cada solicitud de acceso |
| Segmentación | Macro-segmentación (redes amplias y planas) | Micro-segmentación (aislamiento granular) |
| Suposición Clave | "Confiar pero verificar" | "Nunca confiar, siempre verificar" |

física o de red.

- *Red Comprometida*

La definición de ZT asume que la red está comprometida.

- *Sin Confianza Implícita*

Los modelos asumen que un atacante está presente en el entorno y que un entorno propiedad de la empresa no es diferente —o no es más digno de confianza— que cualquier entorno que no sea propiedad de la empresa.

- *Monitoreo Continuo*

La empresa supervisa y mide la integridad y la postura de seguridad de todos los activos propios y asociados. Ningún activo es intrínsecamente confiable. Se espera que una empresa que implementa ZTA tenga sistemas de Diagnóstico y Mitigación Continuos (CDM) o similares para monitorear el estado de los dispositivos y aplicaciones.

- *Comunicación Segura Independiente de la Ubicación*

Toda comunicación está protegida, independientemente de la ubicación de la red. Las solicitudes de acceso desde activos en la infraestructura de red de la empresa deben cumplir los mismos requisitos de seguridad que las solicitudes de acceso y la comunicación desde cualquier otra red no empresarial.

### 3.4 Variaciones de Enfoques de ZTA

Para implementar estos principios, las organizaciones pueden adoptar diferentes enfoques arquitectónicos. El NIST SP 800-207 describe tres variaciones principales, que si bien pueden combinarse en una solución madura, a menudo sirven como puntos de partida distintos. Estos enfoques se centran en la *gobernanza de identidades*, que prioriza al usuario y sus atributos; *la microsegmentación*, que aísla los recursos en enclaves protegidos por gateways de seguridad; y *los perímetros definidos por software (SDP)*, que crean redes superpuestas y dinámicas para conectar de forma segura a usuarios y recursos bajo demanda [1].

## 4. El Valor Estratégico de Zero Trust: Más Allá de la Seguridad

La Arquitectura de Confianza Cero (ZTA) representa un valor estratégico que trasciende la seguridad tradicional, al integrarse profundamente con los objetivos y la evolución tecnológica de las organizaciones [4]. No se trata simplemente de una capa de protección, sino de una "seguridad endógena" que se fusiona con los sistemas de negocio basados en información.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 4.1 Habilitador de la Agilidad Empresarial Moderna.

La Arquitectura de Confianza Cero (ZTA) no es solo una mejora defensiva, sino un habilitador estratégico fundamental para la agilidad empresarial moderna [3]. Su valor reside en que redefine el acceso, pasando de un modelo estático centrado en la ubicación a un enfoque dinámico basado en la identidad, el contexto y los datos. Este cambio es esencial para gestionar la complejidad de la transformación digital, ya que proporciona la visibilidad necesaria para desarrollar y aplicar políticas de seguridad en entornos de trabajo distribuidos.

La adopción de este modelo se traduce directamente en numerosos beneficios operativos, como una mayor productividad, una mejor experiencia para el usuario final, costos informáticos reducidos y un acceso a los recursos mucho más flexible y seguro [1]. Un ejemplo concreto de esta agilidad es la capacidad de hacer que las aplicaciones empresariales estén disponibles de forma segura a través de redes públicas para usuarios autorizados [3]. A diferencia de los modelos que dependen de VPNs restrictivas, una ZTA madura permite a los empleados acceder a las herramientas fundamentales para su misión desde cualquier lugar, tratando cada aplicación "como si fuera accesible a través de Internet" [3]. Esta capacidad de eliminar las barreras geográficas sin sacrificar la seguridad es lo que convierte a la ZTA en una pieza clave para el éxito del trabajo remoto y las operaciones digitales modernas [1][2].

### 4.2 Fortalecimiento de la Resiliencia Operativa y la Postura de Seguridad

Además de habilitar la agilidad, la Confianza Cero fortalece de manera significativa la **resiliencia operativa** de una organización, mejorando su capacidad para resistir ataques y garantizar la continuidad de las funciones críticas [3]. Una defensa cibernética adecuada no sólo previene, sino que también requiere la durabilidad para recuperar rápidamente la capacidad operativa tras un incidente [3]. La ZTA logra esta resiliencia a través de varios mecanismos integrados.

En su estado óptimo, una ZTA implementa una *microsegmentación* extensiva y microperímetros distribuidos [3]. Esta arquitectura es fundamental para la resiliencia, ya que, en caso de una brecha, el daño queda contenido en un segmento pequeño, impidiendo que el atacante se mueva lateralmente y comprometa toda la empresa [1]. Adicionalmente, la resiliencia se extiende a la disponibilidad de la red y los datos; los sistemas se configuran para gestionar dinámicamente las demandas de disponibilidad, utilizando almacenes de datos redundantes y de alta disponibilidad para asegurar que la información crítica permanezca accesible incluso durante una interrupción [3].

Finalmente, esta capacidad de respuesta es impulsada por la *automatización* [3]. A medida que una organización madura en su adopción de Zero Trust, depende cada vez más de procesos automatizados para la detección de incidentes, la aplicación de políticas y la respuesta a eventos. Esta automatización reduce la dependencia de intervenciones manuales, lo que se traduce en una velocidad de respuesta superior y una mayor estabilidad general del sistema, asegurando una postura de seguridad robusta y resiliente.

## 5 Migración a una Arquitectura de Confianza Cero [1]

Un componente clave del valor estratégico de Zero Trust es su viabilidad. A diferencia de una sustitución tecnológica disruptiva, la ZTA se implementa como un "viaje" gradual, permitiendo a las organizaciones operar en un modo híbrido mientras modernizan su infraestructura. La viabilidad de esta transición se basa en una hoja de ruta estructurada, delineada por el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



NIST, que comienza con el establecimiento de una línea base de competencia (identificación de activos, sujetos y procesos) y procede con los siguientes pasos clave [1]:

*1. Identificar Actores*
Definir y catalogar a todos los sujetos (humanos y cuentas de servicio no personales) que interactúan con los recursos de la empresa.

*2. Identificar Activos*
Realizar un inventario de todos los dispositivos, aplicaciones y artefactos digitales para poder gestionarlos y monitorear su estado de seguridad.

*3. Identificar Procesos Clave y Evaluar Riesgos*
Mapear los flujos de datos y priorizar los procesos de negocio para la migración, seleccionando candidatos de bajo riesgo o de alto impacto, como aquellos que ya utilizan la nube o son para trabajadores remotos.

*4. Formular Políticas*
Desarrollar políticas de acceso granulares para el flujo de trabajo seleccionado, definiendo los criterios o pesos de confianza que utilizará el motor de políticas.

*5. Identificar Soluciones Candidatas*
Seleccionar las herramientas tecnológicas adecuadas considerando factores como la compatibilidad con los recursos existentes y la capacidad de registro para análisis.

*6. Implementar y Monitorear*
Desplegar la solución en un modo inicial de "solo informe" para validar y ajustar las políticas sin interrumpir la operación.

*7. Expandir la Arquitectura*
Una vez validado el modelo en un flujo de trabajo, expandir gradualmente la ZTA a otros procesos de la organización.

Este enfoque metódico y por fases es lo que demuestra que la adopción de Zero Trust no es solo una visión teórica, sino una estrategia pragmática y alcanzable para las empresas modernas.

**5.1 Amenazas y Brechas [1]**
Aunque la ZTA mejora significativamente la ciberseguridad, no elimina todos los riesgos y enfrenta desafíos importantes para su adopción. Estos se pueden agrupar en amenazas operativas, brechas de implementación, desafíos sistémicos y áreas que requieren investigación futura [1].

***Amenazas Operativas Persistentes* [1]**
Incluso en una ZTA madura, persisten varias amenazas fundamentales:

- Ataques a Componentes Centrales

El Motor de Políticas (PE) y el Administrador de Políticas (PA) se convierten en objetivos críticos. Su compromiso o un ataque de denegación de servicio (DoS) en su contra puede paralizar las operaciones.

- Credenciales Robadas y Amenazas Internas

Una cuenta comprometida todavía puede acceder a los recursos para los que tiene autorización, aunque la ZTA previene el movimiento lateral no autorizado.

- Riesgos de Datos y Visibilidad

El monitoreo de datos se convierte en un objetivo para los atacantes, y la visibilidad de la red puede ser limitada por el tráfico cifrado, lo que dificulta la detección de amenazas.

***Brechas de Implementación y Adopción [1]***
Los principales obstáculos para que las organizaciones comiencen su transición a ZTA incluyen:

- Falta de Estandarización

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



No existe un vocabulario o marco común para el diseño y la adquisición de ZTA, lo que dificulta la planificación.

- Dependencia de Soluciones Propietarias

La ausencia de interfaces estandarizadas entre componentes conduce a la dependencia de proveedores y a problemas de interoperabilidad.

### 5.2 Preparación para el futuro: Una arquitectura adaptable

La Arquitectura de Confianza Cero se posiciona como la base necesaria para la seguridad del mañana, ya que sus principios son intrínsecamente adaptables a la complejidad de las tecnologías emergentes [1]. A diferencia del perímetro rígido, la ZTA ofrece soluciones dinámicas para los entornos más desafiantes [4]:

En los ecosistemas de IoT, donde los dispositivos tienen capacidades limitadas, la ZTA permite una autenticación continua y un control de acceso contextual, utilizando tecnologías como el Edge Computing para evaluaciones de confianza eficientes [1][4].

Para las cadenas de suministro complejas, su enfoque basado en la evaluación de riesgos en tiempo real es vital para protegerse contra ataques sofisticados, adaptando los permisos según la confianza del usuario, el dispositivo y el contexto [1][3].

En los entornos de desarrollo ágil (DevOps), la ZTA asegura la infraestructura dinámica mediante la microsegmentación, que aísla las cargas de trabajo y limita el movimiento lateral entre microservicios en plataformas como Kubernetes [3].

Fundamentalmente, la ZTA transforma la relación entre seguridad y negocio [1][3]. Deja de ser un obstáculo para convertirse en un habilitador indispensable, una "sublimación en espiral de negocio y seguridad" donde los controles de acceso granulares y dinámicos son parte integral de la operativa empresarial, permitiendo a la organización innovar de manera más rápida y segura.

## 6 Discusión Crítica y Perspectivas Comparativas

Si bien la Arquitectura de Confianza Cero (ZTA) ha sido adoptada ampliamente como estándar por el NIST, existen enfoques alternativos promovidos por organismos como CISA y Gartner, que difieren en el grado de automatización y en la priorización de identidades frente a perímetros definidos por software.

En comparación con BeyondCorp de Google, que enfatiza la identidad del usuario y la verificación contextual, otros modelos como los de Zscaler o Microsoft enfatizan la segmentación y la monitorización continua.

Esta diversidad demuestra que la implementación de ZTA no es un proceso único, sino un marco adaptable según la madurez tecnológica y los objetivos del negocio.

## Conclusión

La Arquitectura de Confianza Cero (ZTA) representa un cambio de paradigma esencial en la ciberseguridad moderna, al reemplazar la confianza implícita por la verificación continua de cada acceso. Más allá de un modelo técnico, su valor reside en alinear la seguridad con la estrategia organizacional, integrando procesos, identidades y tecnología bajo un enfoque de resiliencia operativa.

Este trabajo demostró que la ZTA no solo mejora la protección contra amenazas contemporáneas, sino que impulsa la agilidad empresarial y la eficiencia operativa, adaptándose a entornos híbridos, móviles y distribuidos. A futuro, el desafío radica en la estandarización, la automatización y la consolidación de métricas que permitan evaluar la madurez de confianza cero en cada organización.

**Referencias**

[1] S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, y S. Connelly, Zero Trust Architecture, NIST Special Publication 800-207, National Institute of Standards and Technology, 2020.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[2] R. Ward y B. Beyer, "BeyondCorp: A new approach to enterprise security," ;login: The USENIX Magazine, vol. 39, no. 6, pp. 6–11, 2014.
[3] Agencia de Ciberseguridad y Seguridad de Infraestructura (CISA), Modelo de madurez de confianza cero, Versión 2.0, 2023.
[4] Y. He, D. Huang, L. Chen, Y. Ni, y X. Ma, "A survey on Zero Trust Architecture: Challenges and future trends," Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2022, pp. 1-13, 2022.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Trabajo de I+D+i de Estudiantes extra-cátedra - 13° CoNaIISI 2025***

# Sistema de soporte al relevamiento de sistemas eléctricos y de climatización para análisis de consumo de energía

**Issolio, Tomás; Vera, Héctor; Jimenez, Victor; Will, Adrian**
***Grupo de Investigación en Tecnologías Informáticas Avanzadas GITIA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**
*Este trabajo presenta el modelado relacional de una base de datos destinada a soportar el relevamiento físico de sistemas eléctricos y de climatización en edificios, con el fin de proporcionar información estructurada y estandarizada que facilite el posterior análisis del consumo energético. El modelo, implementado en MySQL, contempla la representación detallada de complejos edilicios, edificios, plantas, niveles y espacios, incorporando criterios de numeración y designación basados en la norma ISO 4157. Asimismo, describe en forma estructurada la infraestructura eléctrica —incluyendo tableros y sus características físicas— y los equipos de climatización, registrando sus especificaciones técnicas, imágenes y documentación asociada. El diseño propuesto admite el relevamiento de múltiples edificios con independencia de sus estructuras, en una misma base de datos que busca optimizar la calidad, completitud y trazabilidad de la información relevada, constituyendo una herramienta fundamental para proyectos de eficiencia energética y gestión de activos en entornos edilicios complejos.*

**Palabras Clave**
Relevamiento energético, Modelado de base de datos, Sistemas eléctricos, Climatización, ISO 4157.

## Introducción

La eficiencia energética en edificios depende en gran medida de la disponibilidad de información precisa y estructurada sobre su infraestructura eléctrica y de climatización. En la práctica, los relevamientos suelen realizarse de manera parcial o no estandarizada, dificultando su posterior utilización para diagnósticos, planificación de mejoras o análisis de consumo. Por otro lado, todos los edificios relevados utilizan terminología familiar y descriptiva para su sistema eléctrico, incluso en cadenas de hoteles y hospitales, lo que complica seriamente la indexación y normalización de la información recolectada. Frente a esta problemática, se desarrolló un modelo relacional de base de datos orientado a soportar el relevamiento físico detallado de sistemas eléctricos y equipos de aire acondicionado, que permita un registro coherente, completo y reutilizable en diferentes contextos.

En primer lugar, el modelo propuesto organiza la información desde una perspectiva jerárquica que abarca inicialmente, la estructura edilicia —complejos, edificios, plantas, niveles y espacios—, incorporando lineamientos de la norma ISO 4157 [1] para la numeración y designación de áreas. Esto permite describir cualquier edificio o complejo de edificios con precisión y de manera clara, documentable y estandarizable como proceso. En segundo lugar, contempla las instalaciones eléctricas, describiendo tableros y características técnicas relevantes para su identificación y mantenimiento. Finalmente, incluye los equipos de climatización, su clasificación por tipo y modelo, especificaciones técnicas, y compatibilidad con controles remotos.

La implementación en MySQL [2] y la estructuración mediante un diagrama relacional garantizan la integridad referencial y la escalabilidad del sistema, permitiendo el registro simultáneo de múltiples edificios y habilitando, en etapas posteriores, la integración con aplicaciones móviles de captura en campo y sistemas de análisis energético.

El objetivo final del trabajo es sentar un primer diseño escalable, para un futuro sistema de adquisición de información. Este sistema deberá permitir relevar rápidamente y eficazmente un edificio con mínima disrupción de las actividades normales. Es importante destacar que se incluyen hospitales y centros de salud entre los posibles usuarios, que en general funcionan

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





24/7, lo que hace complejo o imposible evacuar partes del edificio para su relevamiento. Finalmente, esta documentación estructurada y normalizada se combinará con planos, CADs, y otros, para facilitar la generación de sistemas interactivos como modelos 3D o de Realidad Aumentada. Estos modelos interactivos tipo MetaVerso [3, 4] permitirán a arquitectos, dueños, y accionistas, acceder a un gemelo digital del edificio con el análisis térmico-energético propuesto.

**Marco institucional y contexto del trabajo**

El presente trabajo se desarrolló en el Grupo de Investigación en Tecnologías Informáticas Avanzadas (*GITIA*), perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán (*UTN-FRT*). El GITIA es un equipo interdisciplinario dedicado a la investigación, desarrollo e innovación en áreas como inteligencia artificial, sistemas de información, redes de sensores y gestión de la energía.

En este marco, el trabajo se realizó como parte de una práctica profesional universitaria en colaboración con el grupo de investigación GITIA, con el objetivo de diseñar un modelo relacional de base de datos que sirva como soporte para el relevamiento físico de sistemas eléctricos y de climatización en entornos edilicios. El desarrollo se enmarca en la línea de investigación y desarrollo de sistemas de información orientados a la eficiencia energética, en la cual el GITIA cuenta con experiencia previa en proyectos de monitoreo, análisis y optimización de consumo de energía [6-9].

**Metodología**

El diseño de la base de datos se llevó a cabo siguiendo un enfoque de modelado relacional, con implementación en MySQL y soporte gráfico mediante la herramienta MySQL Workbench. El objetivo principal fue garantizar la integridad referencial, la normalización de la información y la flexibilidad para representar múltiples configuraciones edilicias y de equipamiento.

A continuación se describe en detalle el modelo relacional de la Base de Datos. Éste define el esquema bajo el cual se persistirán los datos registrados durante el relevamiento de equipos de aire acondicionado e instalaciones eléctricas y que, por lo tanto, es básico y fundamental para el correcto funcionamiento del sistema que se desarrollará para tal propósito. Se detallará el sentido de cada una de las tablas, sus atributos (sólo aquellos que sean significativos en cuanto a aspectos considerados de cada entidad, obviando claves primarias y claves foráneas) y las relaciones entre ellas.

**Numeración y designación de plantas, niveles y espacios**

Se adoptaron lineamientos de la ISO 4157-1 y ISO 4157-2 para numeración y designación de plantas, niveles y espacios, lo que asegura consistencia en el etiquetado físico de las áreas relevadas y facilita la orientación en edificios de diversa clase.

Para ello se sigue el siguiente criterio: *Enumerar las habitaciones en sentido horario desde la entrada principal al edificio, avanzando en el sentido de apertura de las puertas.*

Si bien la primera de las dos instrucciones que conforman al mencionado criterio es una indicación explicitada en la norma, éste no es el caso de la segunda de ellas, la cual fue establecida como una regla propia del presente trabajo, debido y a su vez habilitada por la ambigüedad que en este aspecto presenta el estándar. Para su mejor comprensión, se desarrolla continuación un ejemplo de la aplicación de ésta regla para numerar espacios (primer caso), junto con una regla alternativa basada sólo en numerar en sentido horario (segundo caso), la cual brindará un punto de comparación útil para comprender los diferentes caminos a seguir que habilita la indefinición de la norma:

- **Primer caso** (ver Figura 1): La primera habitación es aquella a la que se ingresa desde la entrada principal. El resto de habitaciones se enumera en primera instancia en sentido horario y, al hacerlo, se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





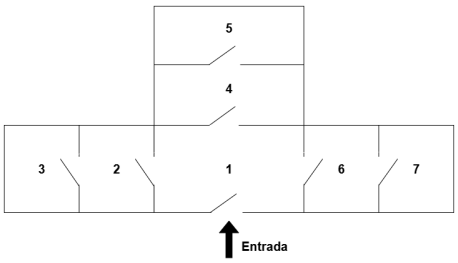



**Figura 1**: Ejemplo de aplicación de la regla para numerar espacios (primer caso).

sigue con aquellas habitaciones a las que se ingrese desde una puerta proveniente de la habitación anteriormente numerada.

● **Segundo caso** (ver Figura 2, considerando únicamente la regla del sentido horario a partir de la entrada principal): La primera habitación, al igual que en el otro caso, es aquella a la que se ingresa desde la entrada principal. El resto de habitaciones se enumeran siguiendo el sentido horario desde el punto inicial (de la entrada principal).

Otra situación en el que la norma ISO 4157 presenta indefinición es aquella en que a una habitación o espacio se ingresa desde más de un ambiente, lo cual, al momento de asignarle un número, plantea un conflicto sobre cuál de las distintas secuencias de numeración que convergen en ella será la que efectivamente se utilizará. El criterio que se adoptó ante situaciones de este tipo consiste en asignar al espacio en cuestión la numeración más baja de entre las posibles para luego continuar la sucesión bajo el conjunto de reglas especificadas en la norma y en este documento (Ver Figura 3).

**Dificultad en el modelado**

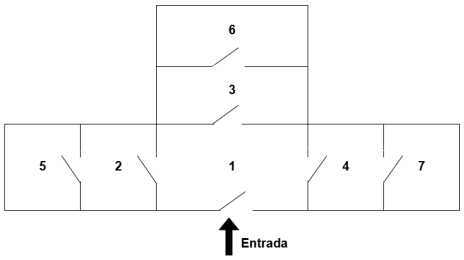



**Figura 2**: Ejemplo de aplicación de la regla alternativa para numerar espacios (segundo caso).

A continuación se describe una simplificación importante realizada al modelar la base de datos siguiendo los lineamientos de la norma mencionada: En casos reales pueden existir espacios con varios niveles diferentes (Ejemplos cotidianos de esto pueden ser un anfiteatro, una sala de cine, un teatro, etc.). En este modelo se obvió esta posibilidad y se decidió considerar y registrar los desniveles sólo en casos en que correspondan a un piso (tratados como subdivisiones de un piso/planta). De este modo, los espacios se considerarán a lo sumo como inscriptos dentro de estos desniveles (si es que existieran); en otras palabras, un espacio no tiene desniveles y cuanto mucho puede estar contenido en un determinado nivel de un piso en cuestión. No se niega que la situación planteada pueda existir en la realidad pero este aspecto no es incorporado como información en el modelo.

La norma ISO 4157 establece que un espacio (una habitación) no necesariamente está limitado por paredes, por lo que, sí existe un desnivel, bien puede ser éste el que delimite un espacio (habitación) o tener varios espacios incluidos dentro suyo (sin que existan paredes).

**Estructura jerárquica del modelo**

El modelo se organiza en tres dominios principales, interrelacionados entre sí: (1) Infraestructura edilicia, (2) Instalaciones eléctricas, y (3) Equipos de climatización.

**1. Infraestructura edilicia**

Se modela la estructura física de los inmuebles de forma jerárquica. La Figura 4 muestra el diagrama relacional

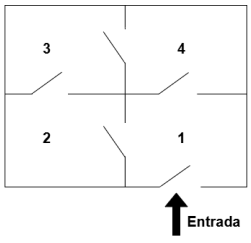



**Figura 3**: Ejemplo de situación donde una habitación es accedida desde más de un espacio.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



correspondiente a esta parte del modelo, cuyas entidades se describen a continuación:

● **Complejo**: Representa un conjunto de uno o más edificios, con atributos de ubicación geográfica y descripción general. Puede que contenga un solo edificio (situación que se espera que sea muy repetida).
Atributos destacados:
○ *Dirección*: Incluye nombre de calle y numeración, y corresponde al ingreso principal al complejo.
○ *Latitud, Longitud*: Coordenadas geográficas de la ubicación del complejo.

● **Edificio**: Asociado a un único complejo, identificado por numeración interna y por la numeración ISO 4157.
Atributos destacados:
○ *Número de edificio*: Numeración del edificio dentro del complejo, si es que la tuviese. En este campo se considera una numeración previa al relevamiento, un número que le haya sido asignado en algún momento de su existencia y según el cual el edificio sea reconocido entre el resto.
○ *Número ISO de edificio*: Numeración del edificio dentro del complejo según la norma ISO 4157 [1].
Relaciones:
○ *Con Complejo*: Un complejo contiene uno o más edificios, un edificio está contenido en un único complejo de edificios.

● **Planta**: Niveles principales de un edificio, con numeración ISO y convencional.
Atributos destacados:
○ *Número de planta*: Numeración que haya sido asignada previamente a una planta.
○ *Número ISO de planta*: Numeración de la planta según la norma ISO 4157, la cual establece que "cada planta deberá ser numerada consecutivamente desde abajo hacia arriba, empezando con 1 en el nivel más bajo utilizable para cualquier propósito".
Relaciones:
○ *Con Edificio*: Un edificio consta de una o más plantas, únicas por cada edificio.

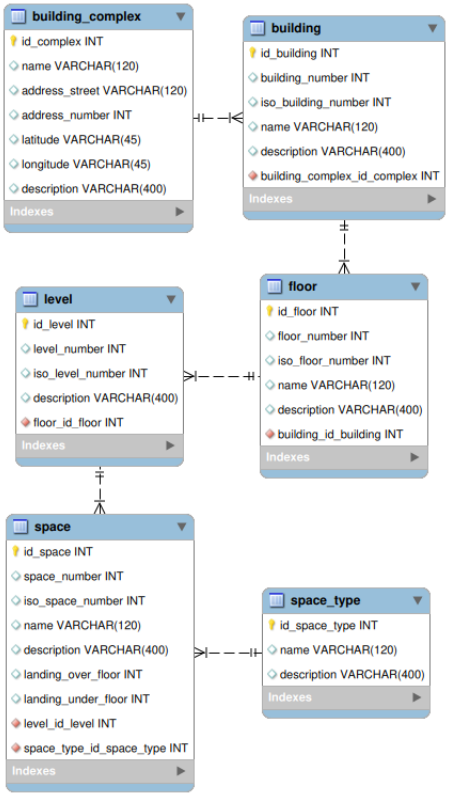



**Figura 4**: Diagrama relacional para modelar la jerarquía de estructura física de los edificios.

● **Nivel**: Subniveles o diferencias de altura dentro de una planta. Contemplado por la norma ISO 4157 cuando se menciona que "Cuando existan diferencias de nivel en el interior de un edificio, por ejemplo, entrepiso, desnivel, rellano, rampa, etc., se deberán dar todas las indicaciones necesarias para evitar errores".
Atributos principales:
○ *Número de nivel*: Numeración que haya sido asignada previamente al nivel.
○ *Número ISO de nivel*: Según los lineamientos de la norma ISO 4157 que, si bien no define específicamente cómo numerar un nivel, dá directivas sobre las cuales es posible basarse para asignar dicha numeración. En concreto, se evalúa repetir el criterio utilizado para numerar plantas del edificio.
Relaciones:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





○ *Con Planta*: Un nivel está contenido en una única planta. Una planta tiene uno o más niveles.

● **Espacio**: Áreas específicas (habitaciones, salones, pasillos, etc.), numeradas según criterios de orientación horaria basados en la ISO 4157.
Atributos destacados:
○ *Número de espacio*: Numeración que haya sido previamente asignada al espacio.
○ *Número ISO de espacio*: Numeración del espacio según la norma ISO 4157, la cual establece que "debería hacerse en sentido horario, en el orden en que las habitaciones son alcanzadas desde la entrada principal, o en un orden lógico alternativo".
Relaciones:
○ *Con Nivel*: Un espacio está contenido en un único nivel. Un nivel tiene uno o más espacios.

● **Tipo de espacio**: Clasifica los espacios según su función o características (por ejemplo, "habitación", "patio", "rellano").
Atributos destacados:
○ *Rellano sobre piso*: Si el tipo de espacio fuese "rellano", aquí se debería indicar sobre qué piso está ubicado éste.
○ *Rellano bajo piso*: Si el tipo de espacio fuese "rellano", aquí se debería indicar bajo qué piso está ubicado éste.
Relaciones:
○ *Con Espacio*: Un espacio tiene un único tipo de espacio. Un tipo de espacio puede corresponder a más de un espacio.

**2. Instalaciones eléctricas**
Se describe la parte del modelo de la infraestructura de distribución de energía eléctrica, la cual se muestra en la Figura 5:

● **Instalación eléctrica**: Define el conjunto de elementos que abastecen a un edificio, con datos como número de fases y descripción general.
Atributos destacados:
○ *Cantidad de fases*: Indica cuántos conductores activos componen el suministro de energía eléctrica.
Relaciones:
○ *Con Edificio:* Un edificio puede tener una o más instalaciones eléctricas. Una instalación eléctrica corresponde a un único edificio.

● **Panel/Tablero eléctrico**: Elemento central de distribución, con atributos físicos (dimensiones, cantidad de rieles, espacios, presencia de tapa, material) y funcionales (tipo de tablero, ubicación). Cada tablero se asocia a una única instalación eléctrica y a un espacio específico dentro del edificio.
Atributos destacados:
○ *Tipo de tablero:* ENTRADA (el único del edificio donde está la acometida externa), General (uno que suele estar adyacente a este, que contiene la división principal por circuitos), Principal del piso o sector (el más grande donde entra la línea general), Secundarios (todos los demás).
○ *Cantidad de rieles.*
○ *Material de la caja.*
○ *Material de la tapa.*
○ *Cantidad de espacios disponibles.*
○ *Ruta de la imagen*: Ruta de archivo para recuperar la imagen del tablero.
Es crítico destacar el material del que están confeccionados la caja y la tapa ya que las cajas metálicas obligan a poner antenas externas, lo cual nuevamente puede complicar el proceso de instalación.

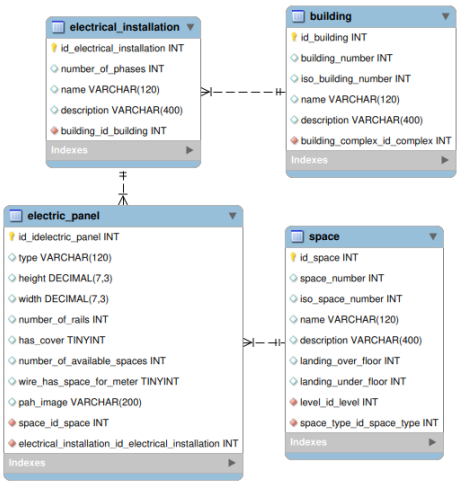



**Figura 5**: Modelo de Base de Datos para la infraestructura de la instalación eléctrica.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Trabajo de I+D+i de Estudiantes extra-cátedra - 13° CoNaIISI 2025***

Relaciones:

- *Con Instalación eléctrica*: Una instalación puede tener muchos tableros, un tablero corresponde a una única instalación eléctrica.
- *Con Espacio*: Un tablero está en un único espacio, un espacio puede contener muchos tableros (o ninguno).

**3. Equipos de climatización**

Se relevan los equipos de aire acondicionado y sus características (ver parte del modelo en la Figura 6):

● **Tipo de aire acondicionado**: Describe el tipo de producto del modelo de aire acondicionado. Un equipo de aire acondicionado puede estar diseñado y elaborado de distintas formas, presentándose en disposiciones bien diferentes buscando satisfacer a distintas necesidades o adaptarse a restricciones. Ésta clase da la flexibilidad de incluir tipos de aire acondicionado que aún no se conozcan o no hayan sido desarrollados. Ejemplos: De ventana, de pared, split, portátil, Ventana-Split-Rooftop-Cassette.

Relaciones:

- *Con Modelo*: Un modelo es de un tipo específico de aire acondicionado. Un tipo de aire acondicionado podrá describir más de un modelo.

● **Modelo**: describe las características de fábrica (marca, eficiencia energética, tipo inverter, capacidad de refrigeración / calefacción, conectividad Wi-Fi).

● **Equipo/Dispositivo**: Instancia física de un modelo, con información de ubicación, año de fabricación, fotografías y detalles de la conexión eléctrica.

Atributos destacados:

- *Tiene enchufe de pared*: El equipo generalmente está conectado a la red eléctrica mediante un enchufe de pared, aunque en algunos casos lo está sin un enchufe, directamente a la conexión. La falta de este enchufe puede complicar la instalación por lo que es crítico contar con esta información.

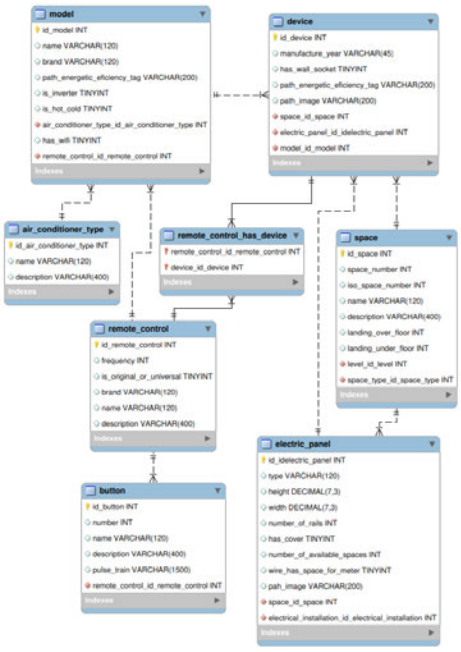



**Figura 6**: Modelo de Base de Datos para los equipos de climatización.

- *Etiqueta de eficiencia energética*: Imagen de la etiqueta de eficiencia energética.
- *Imagen:* Del dispositivo.

Relaciones:

- *Con Modelo*: Muchos equipos pueden ser de un modelo. Un mismo modelo podrá asignarse a varios equipos distintos.
- *Con Espacio*: En un espacio puede no haber ningún equipo o puede haber varios. Un equipo de aire acondicionado está en un único espacio.
- *Con Tablero eléctrico*: Un dispositivo de aire acondicionado estará conectado a un único tablero, mientras que un tablero puede recibir las conexiones de varios dispositivos.

● **Control remoto**: Para manipular un equipo de aire acondicionado. Si éste es de tipo original, entonces corresponde al modelo del aire acondicionado y es único para éste, aunque se deja la posibilidad de que un mismo control original se repita en varios modelos diferentes. Es el control adecuado para ese modelo de aire, el cual se supone que viene de fábrica con el equipo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





Tener este tipo de control es lo ideal, lo que se espera encontrar.
Si el control remoto es de tipo universal, entonces se asociará a los equipos de aire acondicionado con los que sea compatible. Un control remoto de tipo universal podrá estar asociado a varios equipos y un equipo podrá ser compatible con varios controles universales.
Si el modelo asociado al equipo ya tiene un control remoto original asociado, se estará ante el mejor de los casos y no será necesario registrar controles universales para ese dispositivo.
Atributos destacados:
- *Frecuencia:* De las señales que envía el control remoto, medidas en MHz, representada por un número entero.
- *Es original o universal:* Si el control es original, se asociará a un modelo y, si es universal, a un equipo. De cualquier forma, el control podrá crearse sin asignarse inicialmente a ninguna de estas clases.
- *Marca:* Si el control es original, será la misma que la del modelo.

Relaciones:
- *Con Equipo/Dispositivo (control remoto universal):* Un equipo puede tener asociados varios controles (que, en este caso, serán universales) y un control remoto (de tipo universal) puede ser utilizado por varios equipos.
- *Con Modelo (control remoto original):* Un modelo puede tener asociado sólo un control remoto (original). Un control remoto original puede corresponder a varios modelos de aire acondicionado (ambos serán de la misma marca).

● **Botón**: Botón de un control remoto, con datos sobre sus funciones individuales. Es importante el almacenamiento de este dato ya que en el proyecto principal se incluye un circuito de control inteligente del Aire Acondicionado, lo cual requiere reproducir el control del aire directamente en el software.
Atributos destacados:
- *Nombre:* Indicativo de la función del botón.
- *Descripción*: De la función que cumple el botón e información adicional que se desee proporcionar sobre éste.
- *Tren de pulsos*: De la señal que emite el control remoto al ser presionado ese botón. Contendrá las duraciones de la señal en sus valores 0 o 1 lógico.

Relaciones:
- *Con Control remoto:* Un control remoto tiene varios botones. Un botón se asigna a un único control remoto.

**Resultados esperados**
El resultado principal de este trabajo es un modelo relacional de base de datos capaz de representar de manera estructurada y normalizada la información que se pretende obtener durante el relevamiento físico de sistemas eléctricos y de climatización en edificios. El modelo, implementado en MySQL y documentado mediante un diagrama relacional, integra en un único esquema los datos de:
- **Infraestructura edilicia**, con jerarquía de complejos, edificios, plantas, niveles y espacios, siguiendo criterios de designación y numeración basados en la norma ISO 4157 y con ubicación georeferenciada de la entrada al complejo.
- **Instalaciones eléctricas**, incluyendo paneles y tableros con sus atributos físicos. La estructura generada debe ser capaz de permitir un relevamiento rápido y eficiente, mínimamente disruptivo para los habitantes (recordemos que en muchos casos es un hospital), y servir de base para alimentar modelos 3D o de realidad aumentada.
- **Equipos de climatización**, con clasificación por tipo y modelo, atributos técnicos relevantes, fotografías asociadas y compatibilidad con controles remotos.

El diseño permite registrar múltiples edificios en una misma base de datos, manteniendo la integridad referencial y ofreciendo flexibilidad para la incorporación de nuevos tipos de equipos o modificaciones en la estructura edilicia. Asimismo,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



contempla la inclusión de imágenes, planos y documentación asociada, lo que facilita la trazabilidad de los activos relevados.

El modelo está diseñado para admitir la incorporación de nuevos tipos de equipos, ampliaciones edilicias y variaciones en las instalaciones eléctricas sin necesidad de reestructuraciones profundas. Esto se logra mediante el uso de entidades de clasificación y la separación entre la descripción de un modelo y su instancia física.

Se espera que, una vez integrado en un sistema de captura de datos en campo (por ejemplo, mediante aplicaciones móviles), este modelo permita:

1. Reducir el tiempo y los errores en la carga de información.
2. Garantizar la estandarización de la información relevada.
3. Facilitar el análisis posterior del consumo energético, así como la planificación de mejoras en eficiencia energética.
4. Facilitar la generación de modelos interactivos de acceso a la información como modelos 3D y de Realidad Aumentada.

**Conclusiones y Trabajos Futuros**

El modelado presentado constituye una solución robusta para centralizar y organizar la información proveniente del relevamiento físico de sistemas eléctricos y de climatización en entornos edilicios. Al estructurar los datos en un esquema relacional que integra la jerarquía edilicia, la infraestructura eléctrica y los equipos de climatización, se logra un soporte sólido para futuros análisis energéticos y de gestión de activos. El principal objetivo de este trabajo es generar una estructura sólida que permita un rápido relevamiento con mínima disrupción para los habitantes, ya que los destinatarios son hospitales, escuelas, edificios de empresas y departamentos, y en todos los casos el relevamiento resulta disruptivo pero crítico. A su vez, el modelo servirá como base para desarrollos de UX más avanzados como realidad aumentada y modelado 3D, que permitan a los usuarios comprender la información más cabalmente.

El uso de la norma ISO 4157 como referencia para la numeración y designación de espacios asegura consistencia en la identificación física de áreas, lo que mejora la precisión del relevamiento y facilita la orientación en edificios complejos. Además, la incorporación de atributos técnicos, ubicación georreferenciada y material gráfico asociado incrementa el valor del inventario, al permitir no sólo su consulta sino también su verificación visual. Todos los edificios relevados utilizan terminología propia ad-hoc para la descripción del sistema eléctrico, lo cual resulta adecuado en edificios sencillos pero no en la mayoría de los hospitales y otros edificios de plantas no rectangulares. Por lo cual, la adopción de este estándar nos permite independizarnos de los nombres comunes utilizados por los usuarios y el personal, al mismo tiempo que al mostrar la información usando códigos QR, modelos 3D, o realidad aumentada, se puede acceder perfectamente al nombre familiar o descriptivo sin caer en repeticiones o problemas de indexación.

Aunque el presente trabajo se centra en el modelado de la base de datos, el diseño contempla su futura integración con herramientas de captura en campo, sistemas de análisis de imágenes y datos, y especialmente sistemas de acceso interactivo para UX, lo que ampliará significativamente su alcance y aplicabilidad.

Como línea futura de trabajo, se prevé integrar este sistema como parte central del proceso de relevamiento edilicio, análisis de la información, parte integral de las simulaciones y cálculos, y finalmente, base para los sistemas interactivos de acceso en 3D y Realidad Aumentada. Esto resulta crítico para lograr un relevamiento eficaz y estandarizado en edificios muchas veces ocupados y de estructura compleja, sin una nomenclatura clara de la estructura y las habitaciones, y con una mínima disruptividad para los ocupantes. Al mismo tiempo, permitirá análisis y simulaciones eficientes y permitirá a arquitectos, ingenieros, electricistas, y stakeholders en general entender rápidamente los resultados

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de los análisis efectuados en un gemelo digital basado en el sistema planteado.

**Referencias**

[1] International Organization for Standardization. (1998). ISO 4157-1:1998 — Construction drawings — Designation systems — Part 1: Buildings and parts of buildings. ISO.

[2] Axmark, D., & Widenius, M. *MySQL 9.4 Reference Manual*. MySQL Documentation Team. [En línea]. https://dev.mysql.com/doc/refman/9.4/en/

[3] Dejtiar, F. (2022). La Arquitectura del Metaverso (hasta ahora). *ArchDaily*. Accedido: 31/08/2025. [En línea]. https://www.archdaily.cl/cl/986921/la-arquitectura-del-metaverso-hasta-ahora

[4] Ficarazzi, G. (2023). Metaverso: La nueva frontera de la arquitectura y el diseño digital. *NAN Arquitectura*. Accedido: 31/08/2025. [En línea]. https://nanarquitectura.com/2023/11/27/metaverso-arquitectura/29269

[5] What does an electric panel do? (2022). *NOVA Fabrication & Manufacturing Companies in Turkey*. Accedido: 31/08/2025. [En línea]. https://www.novafabrication.com/what-does-an-electric-panel-do/

[6] Lizondo, D., Rodriguez, S., Will, A., Jimenez, V., & Gotay, J. (2018). An Artificial Immune Network for Distributed Demand-Side Management in Smart Grids. Information Sciences, 438, 32-45. https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.01.039

[7] Will, A. (2022) Adaptive Distributed Emergency Electricity Grid Control System for Smart Hospitals, International, *Meet on Electronics and Electrical Engineering, Dubai* [Video]. https://youtu.be/xwU_Qf_MwYE

[8] Will, A (2023). Uso estratégico de medidores inteligentes y cambio climático, Apertura CONAIISI [Video]. https://youtu.be/FNvK7T85Gps

[9] Will, A (2024). Cambio climático, energía e IA, *Smart City Expo Santiago del Estero* [Video]. https://youtu.be/d8mVRzCRzXs

**Datos de Contacto:**

*Tomás Issolio. Grupo de Investigación en Tecnologías Informáticas Avanzadas (GITIA) - Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán (UTN-FRT). Bernardino Rivadavia 1050, San Miguel de Tucumán (CP 4000). Tomas.Issolio@alu.frt.utn.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Automatización de procesos crediticios y de pagos mediante la integración de APIs externas

**Jones Martin, Moreyra Monzón Job Luis Daniel, Gonzalez Junior Juan Francisco**
***Universidad de la Cuenca del Plata, Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura***

**Abstract**
*La gestión manual de procesos crediticios y de pagos digitales suele generar demoras, errores y baja trazabilidad, lo que limita la eficiencia de las organizaciones financieras. Con el fin de responder a esta problemática, el presente trabajo tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema middleware que automatice dichas operaciones mediante la integración de servicios externos. La propuesta se desarrolló sobre una arquitectura basada en Firebase Cloud Functions y Realtime Database, implementando endpoints REST con autenticación segura y un esquema de administración multiempresa. Además, se incorporó un panel web para usuarios autorizados, que permite consultar y filtrar transacciones, exportar información y gestionar roles. La automatización del flujo de pagos se complementa con la implementación de webhooks para recibir notificaciones en tiempo real y actualizar los estados de las operaciones. Los resultados muestran una reducción significativa en los tiempos de operación, mayor confiabilidad en el registro de transacciones y una mejora en la seguridad de los accesos.*
*Como conclusión, este estudio evidencia que la integración de APIs externas con arquitecturas cloud permite optimizar la eficiencia operativa y favorecer la inclusión financiera, aportando una solución escalable y adaptable a distintos contextos organizacionales.*

**Palabras claves:** API, Automatización, Middleware, Fintech, Backend.

## Introducción

La aceleración de la transformación digital en servicios financieros ha impulsado la adopción de pagos electrónicos y el uso de arquitecturas basadas en interfaces de programación de aplicaciones (APIs). A nivel global, la inclusión financiera y el uso de cuentas y pagos digitales continúan creciendo; el Global Findex [1] reporta avances sostenidos en acceso y uso de servicios formales, mientras que en Argentina la proporción de adultos que realizaron o recibieron pagos digitales pasó de aproximadamente 40% en 2017 a cerca de 65% en 2021, lo que ilustra la magnitud y la oportunidad de automatizar procesos en la región [2].

La literatura reciente destaca que la apertura de datos y APIs (open banking) facilita la innovación y la competencia, habilitando integraciones seguras entre bancos, fintechs y terceros [3]. También se reconoce la consolidación de arquitecturas orientadas a eventos y el uso de webhooks como mecanismos preferentes para la sincronización en tiempo real, al mejorar la latencia y reducir el acoplamiento de los sistemas [4]. Asimismo, la evidencia académica muestra que los entornos serverless aceleran los ciclos de desarrollo y favorecen la elasticidad, explicando su creciente adopción en el sector financiero [5].

En Latinoamérica, los pagos no en efectivo y las transacciones en tiempo real muestran un crecimiento sostenido, lo que crea presión por experiencias más simples, trazables y seguras [6]. Sin embargo, muchas organizaciones especialmente pymes tecnológicas o áreas internas siguen gestionando procesos crediticios y de cobro mediante procedimientos manuales, lo que genera demoras, errores y baja trazabilidad [7]. La literatura en auditoría y control interno subraya que la automatización reduce la incidencia de errores humanos y fortalece la consistencia de los procesos,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



aunque la adopción práctica suele verse limitada por la complejidad de integrar múltiples servicios externos [8].

En este caso de estudio, el equipo no contaba con experiencia previa en el desarrollo de middleware para fintech, por lo que se recurrió a la revisión de literatura y documentación técnica, complementada con validaciones empíricas durante la construcción de la solución. El objetivo principal del trabajo estuvo focalizado en diseñar e implementar un sistema middleware que automatice la evaluación crediticia y el ciclo de pagos digitales mediante la integración de APIs externas, con notificaciones en tiempo real (webhooks) y un panel administrativo que permita la consulta y el gobierno operativo.

La contribución de este trabajo reside en presentar un caso replicable que combina: (i) una arquitectura serverless con funciones en la nube y base de datos en tiempo real; (ii) un esquema multiempresa con control mediante API keys y roles diferenciados; y (iii) un flujo orientado a eventos que garantiza trazabilidad completa de las transacciones. Estos resultados se discuten críticamente en comparación con enfoques alternativos como el polling o los despliegues monolíticos [4][5].

**Arquitectura del Sistema**

El sistema propuesto se diseñó como un middleware orientado a eventos, con el fin de conectar aplicaciones internas con servicios de pagos digitales y validación externa. Para garantizar escalabilidad y bajo costo operativo se utilizó una arquitectura serverless, basada en Firebase Cloud Functions y Realtime Database [9][10]. Este enfoque permite desplegar funciones específicas bajo demanda, reduciendo el acoplamiento del sistema y facilitando la integración modular.

El núcleo del sistema incluye:

- Backend en Node.js con funciones alojadas en la nube.
- Base de datos en tiempo real (Firebase Realtime Database) para almacenar transacciones y configuraciones.
- Panel administrativo web en HTML, CSS y JavaScript.
- Integración con servicios externos mediante APIs de pago digital.

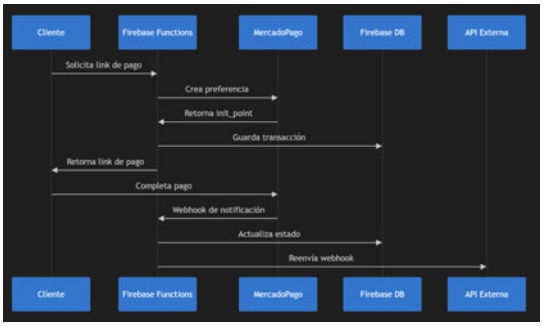



**Figura 1. Flujo de pago completo**

La figura 1 detalla el flujo de pago completo.

La literatura reciente subraya que arquitecturas *serverless* resultan especialmente útiles para proyectos fintech por su elasticidad y facilidad de despliegue [11][12].

**Autenticación y Seguridad**

Uno de los requisitos centrales ha sido garantizar un esquema de acceso seguro. Para ello se implementaron dos mecanismos principales:

1. API Keys por empresa: cada organización cuenta con una clave única que debe incluir en los encabezados de sus solicitudes, lo cual asegura un control granular de acceso.

2. Roles diferenciados en el panel administrativo: mediante Firebase Auth se establecieron credenciales para un super administrador y administradores, con permisos distintos para creación de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



usuarios, consulta de operaciones y configuración de servicios.

Este enfoque se alinea con las recomendaciones de control interno digital, que resaltan la importancia de autenticación multifactor y control de privilegios para mitigar riesgos en sistemas financieros [13].

**Endpoints principales**

El sistema expone una serie de endpoints REST diseñados para cubrir el ciclo de pagos:

- Generación de links de pago: crea una preferencia de pago y devuelve un enlace único para el cliente.
- Consulta de estado: permite conocer en tiempo real el estado de la transacción mediante un identificador único.
- Webhook de notificaciones: recibe confirmaciones automáticas de los servicios externos y actualiza el estado de las transacciones en la base de datos.
- Endpoints de prueba (mock): simulan operaciones para validación local y en entornos de desarrollo.

La adopción de webhooks es consistente con tendencias internacionales, ya que evitan técnicas de *polling* ineficientes y garantizan trazabilidad en sistemas de pagos [14][15].

**Panel Administrativo**

El panel administrativo web cumple la función de centralizar la información para los usuarios autorizados. Incluye:

- Dashboard de transacciones con filtros por fecha, estado y empresa.
- Exportación de datos a CSV para auditorías.
- Gestión de administradores (creación, eliminación y asignación de roles).

Estas funcionalidades responden a la demanda de las fintech modernas de contar con herramientas que combinen trazabilidad y gobernanza de datos [16].

**Metodologías y división del trabajo**

La división de tareas dentro del equipo se realizó aplicando diferentes técnicas de gestión de proyectos, con el fin de asegurar organización, trazabilidad y cumplimiento de los objetivos en los tiempos previstos.

En primer lugar, se utilizó Kanban dentro de la herramienta Trello, donde se organizaron las actividades en un tablero con tarjetas asignadas a cada integrante. Este enfoque permitió dar seguimiento a las tareas pendientes, en progreso y completadas, facilitando la colaboración en tiempo real y la transparencia de responsabilidades [17].

Asimismo, se aplicó la técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique) para identificar la secuencia de actividades críticas y estimar la duración de cada fase. El diagrama elaborado permitió dividir el proyecto en etapas: investigación, análisis, diseño, desarrollo, pruebas, documentación e implementación final [18].

Complementariamente, se elaboró un diagrama de Gantt, que proporcionó un cronograma visual de las actividades, vinculando fechas y duración de cada fase. A diferencia del PERT, el Gantt facilitó el control diario del avance y la redistribución de recursos ante imprevistos [19].

En paralelo, se diseñaron planillas de seguimiento en hojas de cálculo, en las cuales se registraron las horas trabajadas, el rango horario elegido y el grado de completitud de cada producto generado semanalmente. Este control cuantitativo garantizó el cumplimiento de las 102 horas mínimas requeridas para la Práctica Profesional Supervisada y permitió validar avances con el tutor asignado.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Diseño de la solución**

La Figura 2 muestra la arquitectura de microservicios que integra la pasarela de pagos MercadoPago con la plataforma cloud Firebase. El flujo es unidireccional donde el Panel Administrador genera enlaces de pago, MercadoPago los procesa y envía notificaciones vía webhooks a las Firebase Functions, que validan y transforman los datos antes de guardarlos en la Firebase Realtime Database. Esta base centralizada almacena pagos, enlaces, perfiles de administradores, claves API y configuraciones. El Panel Administrador accede a ella para exportar información y generar reportes, asegurando sincronización en tiempo real, trazabilidad completa y una gestión granular de las transacciones.

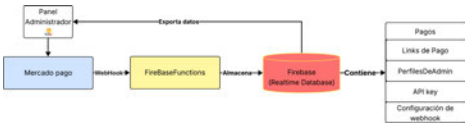



Figura 2. Diseño de la solución

La figura 3 detalla el panel administrador, el cuál es usado por los usuarios con el fin de gestionar las transacciones realizadas dentro de su empresa.

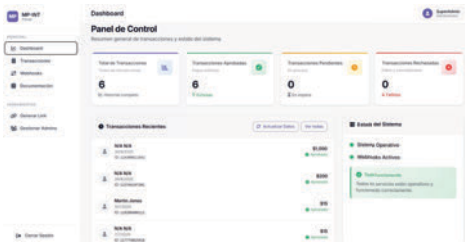



Figura 3. Diseño del panel Administrador.

**Resultados obtenidos**

Tras la implementación del prototipo, se observaron los siguientes resultados:

- Reducción en tiempos de operación: los cobros se procesan automáticamente, eliminando la intervención manual en el registro de pagos.
- Mayor confiabilidad y seguridad: los accesos se encuentran restringidos por roles y cada operación queda registrada con trazabilidad completa.
- Escalabilidad: el esquema multiempresa permite que diferentes organizaciones utilicen el mismo sistema con separación lógica de datos.
- Mejor trazabilidad operativa: el panel administrativo facilita la consulta estructurada de transacciones y su exportación para procesos de control.

La integración de estas metodologías se tradujo en un enfoque híbrido:

- Kanban aportó flexibilidad y adaptabilidad diaria.
- PERT permitió analizar escenarios y riesgos en fases críticas.
- Gantt ofreció control sobre plazos y dependencias temporales.
- Planillas de seguimiento aseguraron cumplimiento formal de horas y entregables.

De esta manera, cada integrante del equipo asumió responsabilidades específicas en investigación, diseño, desarrollo y pruebas, mientras que el trabajo colaborativo se consolidó mediante las herramientas de gestión. Esta combinación metodológica coincide con tendencias actuales en gestión ágil de proyectos de software, donde se recomienda integrar enfoques visuales y cuantitativos para maximizar eficiencia y control [20] [21].

Estos hallazgos confirman que la automatización mediante APIs externas y arquitecturas *serverless* puede impactar positivamente en la eficiencia operativa y la inclusión financiera [11][13].

**Trabajos relacionados**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La literatura especializada ofrece múltiples enfoques para la integración de servicios financieros mediante APIs y arquitecturas orientadas a la automatización. Los estudios sobre open banking destacan que la apertura de datos bancarios mediante interfaces estandarizadas ha impulsado la innovación y la competencia en el sector financiero global [22]. En particular, se han desarrollado modelos regulatorios en Europa (PSD2) y América Latina que fomentan la interoperabilidad entre bancos, fintechs y terceros [23].

En relación con la automatización de procesos de pagos digitales, investigaciones recientes demuestran que la incorporación de APIs de terceros reduce costos operativos y permite mejorar la experiencia del usuario al minimizar los pasos manuales [24]. Estos trabajos coinciden en que la clave está en garantizar seguridad y trazabilidad a través de mecanismos de autenticación y validación en tiempo real.

Diversos autores han analizado también el papel de las Arquitecturas Orientadas a Eventos (EDA) y el uso de webhooks como soluciones efectivas para la sincronización de sistemas en tiempo real. Se resalta que estos enfoques reducen la latencia y mejoran la eficiencia frente a métodos tradicionales como el *polling* [25][26]. Esto se alinea con los hallazgos de proyectos que aplican EDA en fintech para supervisar transacciones en línea y disparar respuestas automáticas ante eventos críticos.

Por otra parte, la literatura sobre serverless computing muestra casos de aplicación en entornos de alta variabilidad de carga, como los sistemas financieros, destacando su escalabilidad y eficiencia en costos [27]. Se identifican, sin embargo, limitaciones relacionadas con la complejidad de monitoreo y la dependencia de proveedores cloud, lo cual plantea desafíos en términos de gobernanza tecnológica.

Finalmente, estudios sobre metodologías de gestión de proyectos en entornos ágiles recomiendan la integración de enfoques visuales (Kanban, PERT, Gantt) con herramientas cuantitativas (planillas de seguimiento) para maximizar la coordinación de equipos distribuidos [28]. En este sentido, nuestro trabajo se diferencia al combinar estas metodologías con la implementación de un sistema middleware en un caso práctico de Práctica Profesional Supervisada, aportando una experiencia real de integración académica y profesional.

## Conclusión y trabajos futuros

El desarrollo de este sistema middleware permitió demostrar cómo la automatización de procesos crediticios y de pagos digitales puede mejorar significativamente la eficiencia operativa en organizaciones del sector financiero. A partir de la integración de APIs externas, una arquitectura serverless basada en *Firebase Cloud Functions* y el uso de webhooks, se logró reducir la intervención manual, aumentar la confiabilidad de las transacciones y garantizar la trazabilidad de las operaciones en tiempo real.

Desde la perspectiva de la gestión del proyecto, la combinación de metodologías como Kanban, PERT, Gantt y planillas de seguimiento resultó clave para coordinar las tareas del equipo, controlar tiempos y asegurar el cumplimiento de los objetivos de la práctica. Este enfoque híbrido refleja las recomendaciones actuales en gestión ágil de proyectos de software [28] y permitió balancear flexibilidad con control formal de avances.

Entre las principales contribuciones de este trabajo se destacan:

- La validación práctica de un modelo middleware multiempresa, escalable y seguro.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- La integración de técnicas de autenticación y control de accesos alineadas con buenas prácticas en sistemas financieros.
- La incorporación de herramientas de gestión académica y profesional para organizar un proyecto real de Práctica Profesional Supervisada.

No obstante, se reconocen ciertas limitaciones:

- El sistema se encuentra restringido al uso de un único proveedor de pagos y moneda local.
- La dependencia de infraestructura *cloud serverless* introduce retos de monitoreo y gobernanza tecnológica.
- No se abordaron técnicas de modelado avanzado como *machine learning* para scoring crediticio o analítica de riesgos.

Como trabajos futuros, se propone:

3. Extender la solución a soporte multi-moneda y múltiples proveedores de pagos.
4. Incorporar módulos de analítica avanzada, como modelos predictivos de riesgo crediticio basados en *machine learning*.
5. Desarrollar dashboards de métricas con indicadores de desempeño y reportes automáticos para auditores y gerencias.
6. Implementar políticas de rate limiting y monitoreo continuo para reforzar seguridad y estabilidad en entornos de mayor escala.
7. Explorar la aplicación de enfoques de open banking para ampliar la interoperabilidad con otros sistemas financieros regionales.

En conclusión, el trabajo no solo aportó una solución técnica replicable, sino también una experiencia pedagógica que integró conocimientos académicos con prácticas profesionales. Esta experiencia demuestra que los estudiantes pueden generar aportes concretos al campo de la ingeniería en sistemas de información, contribuyendo tanto al desarrollo académico como a la mejora de la infraestructura financiera digital en contextos locales y regionales.

**Agradecimientos**

Los autores deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad de la Cuenca del Plata por el acompañamiento académico brindado durante la Práctica Profesional Supervisada. Asimismo, se reconoce especialmente a la docente Ing. Gilda R. Romero por su orientación en el marco de la asignatura y al tutor de la organización Vida Digital SAS, Emilio Puljiz, por la supervisión y el apoyo técnico durante el desarrollo del proyecto.

Del mismo modo, se agradece a los compañeros de equipo por el compromiso y la colaboración en cada etapa del trabajo, lo que permitió alcanzar los objetivos planteados e integrar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

**Referencias**

[1] World Bank. (2022). *The Global Findex Database 2021: Financial Inclusion, Digital Payments, and Resilience in the Age of COVID-19*. Washington, DC: World Bank.

[2] Banco Mundial. (2021). *Base de datos Global Findex 2021 – Indicadores de inclusión financiera en Argentina*. Recuperado de https://globalfindex.worldbank.org

[3] Ozili, P. K. (2023). Open Banking and Financial Innovation: Opportunities and Challenges. *Journal of Banking Regulation, 24*(3), 198–214. https://doi.org/10.1057/s41261-022-00205-9

[4] Freitas, A., & Costa, D. (2022). Event-driven architectures and webhooks for real-time financial applications. *Proceedings of the 17th International Conference on Software Technologies (ICSOFT)*, 45–54.

[5] Villamizar, M., Garcés, O., & Gil, S. (2021). Serverless computing in practice: Applications and performance evaluation. *Future Generation Computer Systems, 114*, 216–229. https://doi.org/10.1016/j.future.2020.08.015

[6] ACI Worldwide. (2023). *Prime Time for Real-Time 2023: The global real-time payments report*. Recuperado de https://www.aciworldwide.com

[7] PwC. (2020). *Digital banking and payments survey: Challenges in manual processes*. PwC Research Report.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[8] Deloitte. (2021). *Internal control in the digital era: The role of automation in reducing errors*. Deloitte Insights.

[9] Castro, P., & Rocha, R. (2022). Cloud Functions and event-driven architectures in fintech applications. *Journal of Cloud Computing, 11*(2), 45–58.

[10] Adzic, G., & Chatley, R. (2017). Serverless computing: Economic and architectural impact. *Proceedings of the 2017 11th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*, 884–889.

[11] Baldini, I., Castro, P., Chang, K., Cheng, P., Fink, S., Ishakian, V., … & Slominski, A. (2017). Serverless computing: Current trends and open problems. In *Research Advances in Cloud Computing* (pp. 1–20). Springer.

[12] Villamizar, M., Garcés, O., & Gil, S. (2021). Serverless computing in practice: Applications and performance evaluation. *Future Generation Computer Systems, 114*, 216–229.

[13] Deloitte. (2021). *Internal control in the digital era: The role of automation in reducing errors*. Deloitte Insights.

[14] Newman, S. (2021). *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems* (2nd ed.). O'Reilly Media.

[15] Freitas, A., & Costa, D. (2022). Event-driven architectures and webhooks for real-time financial applications. *Proceedings of the 17th International Conference on Software Technologies (ICSOFT)*, 45–54.

[16] PwC. (2020). *Digital banking and payments survey: Challenges in manual processes*. PwC Research Report.

[17] Anderson, D. J. (2010). *Kanban: Successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press.

[18] Malcolm, D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., & Fazar, W. (1959). Application of a technique for research and development program evaluation. *Operations Research, 7*(5), 646–669.

[19] Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). Wiley.

[20] Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

[21] Highsmith, J. (2013). *Adaptive Software Development: A Collaborative Approach to Managing Complex Systems*. Dorset House.

[22] Ozili, P. K. (2022). Open Banking: Theories, Practices and Emerging Issues. *International Journal of Finance & Economics, 27*(3), 3215–3229. https://doi.org/10.1002/ijfe.2531

[23] De la Torre, A., & Ize, A. (2021). *Fintech and Open Banking: Opportunities and Risks in Latin America*. World Bank Publications.

[24] Zhang, Y., & Chen, X. (2022). API Economy and Digital Payments: Enhancing Financial Inclusion through Automation. *Journal of Financial Innovation, 8*(2), 145–162.

[25] Freitas, A., & Costa, D. (2022). Event-driven architectures and webhooks for real-time financial applications. *Proceedings of the 17th International Conference on Software Technologies (ICSOFT)*, 45–54.

[26] Newman, S. (2021). *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems* (2nd ed.). O'Reilly Media.

[27] Villamizar, M., Garcés, O., & Gil, S. (2021). Serverless computing in practice: Applications and performance evaluation. *Future Generation Computer Systems, 114*, 216–229. https://doi.org/10.1016/j.future.2020.08.015

[28] Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (12th ed.). Wiley.

**Datos de contacto**

Jones Martin, *Universidad de la Cuenca del Plata, Corrientes Capital Argentina, martin.jones.r@gmail.com*

*Moreyra Monzón, Job Luis. Universidad de la Cuenca del Plata, Resistencia Chaco Argentina, jobmoreyramonzon@gmail.com*

*Gonzalez Junior Juan Francisco, Universidad de la Cuenca del Plata, Corrientes Capital Argentina, juanfgonzalez645@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Asistente Conversacional basado en Inteligencia Artificial para la prevención de Apuestas Online

**Riera Bauer Fabrizio, Loyola Maria Luciana**

***Universidad Nacional de San Luis***

**Abstract**

*En este trabajo se presenta el desarrollo de un asistente conversacional basado en grandes modelos de lenguaje, diseñado para el abordaje y la prevención del consumo problemático y/o posible adicción a las apuestas en línea en adolescentes y adultos. El asistente utiliza técnicas de recuperación aumentada de información, con una fuente de conocimiento especializada provista por un grupo de investigadores expertos en Psicología. La propuesta surge ante la necesidad planteada por dicho grupo de investigación, interesados en evaluar la efectividad del asistente como instrumento de prevención de apuestas en línea, y recopilar información para tener estadísticas sobre esta problemática. El proyecto se basa en un enfoque multidisciplinario que integra los conocimientos de la informática y la psicología.*

**Palabras Clave**

Asistente conversacional, Apuestas en línea, Inteligencia Artificial, LLM, RAG.

## Introducción

En la actualidad, está surgiendo la grave problemática de las apuestas en línea en adolescentes. El acceso temprano a internet, videojuegos y plataformas de apuestas en línea expone a niños y adolescentes a conductas de juego que antes eran poco frecuentes. Esta exposición constante contribuye a normalizar la práctica del juego, lo que incrementa el riesgo de desarrollar ludopatía a edades cada vez más tempranas [1].

En Argentina, el 8,29 % de la población declaró haber apostado online al menos una vez en su vida; la cifra asciende al 12,5 % entre 15 y 24 años, y al 15,5 % entre 25 a 34 años [2]. Además, un informe de UNICEF Argentina en 2024 reveló que el 40 % de adolescentes y jóvenes había apostado online al menos una vez, y dentro de ese grupo, el 37 % lo hace de manera frecuente o diaria [3]. Estos datos coinciden con lo mostrado por estudios de la Universidad Nacional de Córdoba que indican que el 16 % de los jóvenes apostadores online experimentaron problemas personales o sociales relacionados con el juego, mientras que el 22 % presentó signos de riesgo que podrían derivar en complicaciones mayores [4].

A partir de este análisis, la comunidad científica ha indagado sobre estrategias de prevención. Se ha observado que, al tratar estos temas sensibles, los adolescentes se sienten más cómodos conversando con un asistente virtual, quizás porque no se sienten juzgados, lo que les permite expresarse con mayor libertad.

De esta forma, un grupo de Psicología planteó una hipótesis que indicaba que el uso de un asistente virtual podría convertirse en un recurso preventivo para discriminar conductas de riesgo asociadas al juego online en estudiantes mayores de 13 años, pero también para la población en general. Asimismo, se esperaba que la herramienta fuera accesible y útil para quienes lo utilicen.

Desde un equipo interdisciplinario conformado por docentes y estudiantes de la Licenciatura en Psicología y de Ingeniería en Informática, se propuso el diseño, ajuste y evaluación preliminar de un asistente virtual basado en inteligencia artificial (IA) como herramienta preventiva frente al consumo problemático y/o adicción al juego online en población adolescente.

Para dar respuesta a esta problemática emergente, el presente trabajo consta del desarrollo de un asistente conversacional basado en grandes modelos de lenguaje (LLM), diseñado para el abordaje y la prevención del con-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sumo problemático y/o posible adicción a las apuestas en línea en adolescentes y adultos. La implementación del sistema utiliza técnicas de recuperación aumentada de información (RAG), sustentado por una base de conocimiento especializada desarrollada en colaboración con investigadores expertos en Psicología. Este enfoque multidisciplinario integra los conocimientos de la informática y la psicología, permitiendo crear una herramienta tecnológica que responde tanto a los requerimientos técnicos como a las necesidades terapéuticas específicas de esta problemática.

El proyecto se centra en la implementación de un asistente conversacional, orientado a abordar la problemática de las apuestas online. Este recurso no suplantará, ni querrá conformar un puesto de psicólogo, sino que contribuirá a brindar contención y acompañamiento, promoviendo el juego responsable y ofreciendo recursos para comunicarse con profesionales de la salud en caso de detectarse un comportamiento de juego patológico.

El asistente conversacional tendrá dos objetivos principales en su funcionamiento: por un lado, recopilar y generar estadísticas sobre la problemática, las cuales serán utilizadas por el grupo de investigación de Psicología. Por otro lado, identificar conductas patológicas relacionadas con el juego online y brindarle al usuario los números de contacto de profesionales de la salud a quienes pueda recurrir, provistos previamente por los expertos.

Para el desarrollo de este asistente virtual se planteó la recopilación de información anónima de los usuarios. Dicha información permitirá evaluar el nivel de riesgo detectado en cada caso, identificar las temáticas de conversación más frecuentes, medir el grado de satisfacción de los usuarios con el asistente conversacional y obtener otras estadísticas relevantes para el grupo de investigación.

Finalmente, esta información será utilizada por el grupo para analizar la relación entre la ludopatía y el uso de asistentes virtuales en adolescentes. El análisis se centrará tanto en la aceptación y efectividad del asistente conversacional, como en la identificación del nivel de riesgo del usuario frente a las apuestas en línea y en la detección de posibles problemáticas.

**Marco Teórico**

Los Grandes Modelos de Lenguaje (LLM) han emergido como componentes fundamentales en el desarrollo de sistemas de inteligencia artificial conversacional. Estos sistemas representan redes neuronales profundas diseñadas específicamente para comprender, generar y responder a texto con características similares al lenguaje humano. Los LLM modernos típicamente contienen desde cientos de millones hasta billones de parámetros, y son entrenados con volúmenes masivos de datos textuales que les permiten desarrollar una comprensión robusta del lenguaje natural. Los LLM modernos suelen basarse en la arquitectura “Transformer” y tienen la capacidad de entender, generar e interpretar el lenguaje humano.

El procesamiento de texto en los LLM requiere una transformación inicial del lenguaje natural en unidades computacionalmente manejables. Este proceso, conocido como tokenización, convierte el texto de entrada en tokens, que constituyen las unidades fundamentales que el modelo puede procesar. Un token representa una unidad de texto que puede corresponder a una palabra completa, una subunidad de palabra o caracteres especiales, dependiendo del algoritmo de tokenización empleado. Tokenizadores avanzados utilizan técnicas como la codificación de pares de bytes (BPE), que permite descomponer palabras desconocidas en subunidades más pequeñas o caracteres individuales, garantizando así que el modelo pueda procesar cualquier texto de entrada sin limitaciones de vocabulario.

Una vez completada la tokenización, los LLM requieren convertir estos tokens discretos en representaciones numéricas que redes

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



neuronales puedan procesar. Esta conversión se realiza mediante embeddings, representaciones vectoriales de valores continuos que mapean objetos discretos a puntos específicos en un espacio vectorial multidimensional. Las capas de embedding transforman los identificadores numéricos de los tokens en vectores que capturan información semántica y relacional compleja. Estos embeddings se optimizan como parte integral del entrenamiento del modelo completo, permitiendo que las representaciones vectoriales evolucionen para capturar patrones lingüísticos y relaciones contextuales entre elementos del texto.

La arquitectura integrada permite a los LLM desarrollar capacidades de comprensión contextual y generación de texto, bases técnicas para aplicaciones conversacionales y otras tareas complejas de procesamiento de lenguaje natural [5]. Al momento de implementar un LLM, se puede definir un system prompt. Estos son un conjunto de instrucciones iniciales que se proporcionan al modelo, ayudan a guiar, limitar su comportamiento y sus respuestas. Los system prompt son de vital importancia para el correcto funcionamiento del modelo, de forma que responda de la manera adecuada y que se espera. Sin embargo, teniendo en cuenta el alcance que tiene nuestro proyecto y la información potencialmente sensible que se manejara se deben tener en cuenta algunos detalles. Su aplicación en contextos sensibles —como la prevención de adicciones conductuales— plantea desafíos éticos y legales vinculados a la trazabilidad, el manejo de datos personales, la transparencia algorítmica y la seguridad de la información [6]-[9]. En este sentido, la técnica de Recuperación Aumentada por Generación (RAG) se presenta como una alternativa que permite enriquecer las respuestas generadas por el LLM con información proveniente de bases de conocimiento externas, mejorando la precisión de los resultados.

RAG es el proceso de optimización de la salida de un modelo de lenguaje de gran tamaño, de modo que haga referencia a una base de conocimientos autorizada fuera de los orígenes de datos de entrenamiento antes de generar una respuesta [10].

Los LLM tienen un conocimiento interno que a menudo es fijo, o se actualiza con poca frecuencia debido al alto costo de entrenamiento. Esto limita su capacidad para responder preguntas sobre eventos actuales o proporcionar conocimiento específico de un dominio, lo que vuelve problemático resolver tareas que requieren gran especialización. Así, suelen generar respuestas incorrectas o alucinaciones cuando se enfrentan a consultas que van más allá de sus datos de entrenamiento o que demandan información actualizada.

Para abordar esta limitación se utiliza RAG, esta técnica no requiere volver a entrenar el modelo, sino que se enfoca en recuperar fragmentos de documentos relevantes desde una base de conocimiento externa mediante el cálculo de similitud semántica. Para lograrlo, se apoya en bases de datos vectoriales, un tipo de almacenamiento diseñado para guardar e indexar embeddings. Al recibir una consulta de un usuario, RAG emplea el mismo modelo de codificación utilizado durante la fase de indexación para transformar la consulta en una representación vectorial. Luego, calcula los puntajes de similitud entre el vector de la consulta y los vectores de los fragmentos dentro del corpus indexado. El sistema prioriza y recupera una cantidad estipulada de fragmentos que muestran la mayor similitud con la consulta. Estos fragmentos se utilizan posteriormente como contexto ampliado en el prompt. Gracias a este contexto ampliado, el LLM puede proveer una respuesta más apropiada y basada en fuentes de datos especializadas en el contexto requerido.

**Asistente Conversacional para prevención de Apuestas Online**

Para la problemática descrita se decidió implementar un asistente conversacional dedi-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



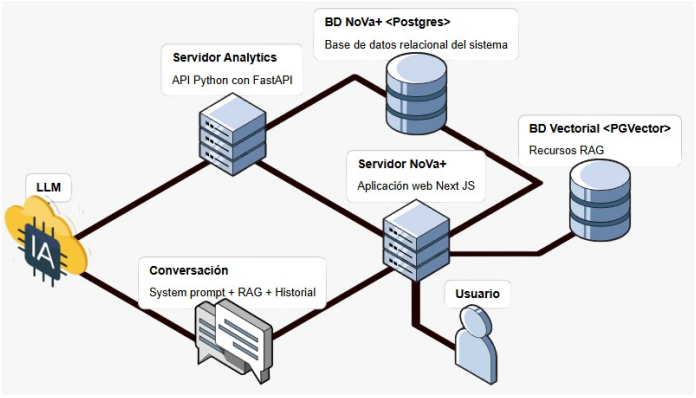



**Fig. 1. Arquitectura general del sistema.**

cado a la prevención y concientización contra la adicción al juego online, denominado NoVa+. El asistente conversacional basado en un LLM y enriquecido mediante la técnica de RAG, se publicará en un sitio web vinculado al proyecto de investigación del grupo de Psicología.

Para validar la hipótesis mencionada, se realizará la recolección y el análisis de información estadística antes, durante y después de la interacción con el asistente conversacional. El objetivo es obtener datos representativos y confiables que permitan caracterizar adecuadamente a los participantes y brindar el mejor apoyo posible.

El grupo de investigación busca realizar relevamientos en escuelas, instituciones y otros establecimientos para enfrentar la problemática. Para ello, además de los chats individuales disponibles en la web, se implementarán sesiones grupales de conversación diseñadas para pruebas controladas. De ambos espacios se recopilarán estadísticas anónimas, que permitirán analizar la interacción de los usuarios, medir tiempos de respuesta, niveles de participación y otros indicadores clave para evaluar tanto el desempeño del asistente como su impacto en el usuario.

La arquitectura general que se implementará se representa en la **Fig. 1**. Se contará con dos servidores. El servidor “NoVa+” será el servidor principal desarrollado con el framework NextJS[11]. Este será el encargado de gestionar todas las solicitudes del lado del cliente, y es donde se llevará a cabo la función principal del sistema que es el asistente conversacional con RAG. Por otro lado, se cuenta con el servidor “Analytics”, desarrollado en Python, el cual será el encargado de calcular las estadísticas para cada una de las conversaciones de los usuarios.

Ambos servidores accederán a una base de datos relacional, donde se almacenarán todos los datos relevantes para el funcionamiento de la página, incluyendo información de usuarios, sesiones grupales, sesiones de chat públicas y estadísticas.

Además, el servidor principal tendrá acceso a la base de datos vectorial, necesaria para la técnica de RAG, a la cual recurrirá cuando se requiera cargar bibliografía relevante al contexto o recopilar información en función de una consulta específica del usuario.

Dado que el proyecto implica el desarrollo de un sistema de Inteligencia Artificial que tratará con temas sensibles y usuarios finales potencialmente vulnerables como adolescentes, se ha tomado como referencia la ”Guía para entidades públicas y privadas en materia de Transparencia y Protección de Datos Personales para una Inteligencia Artificial responsable”[12]. Este documento, elaborado por la Agencia de Acceso a la Información Pública (AAIP) de Argentina, tiene como objetivo ofrecer lineamientos para incorporar la transparencia y la protección de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



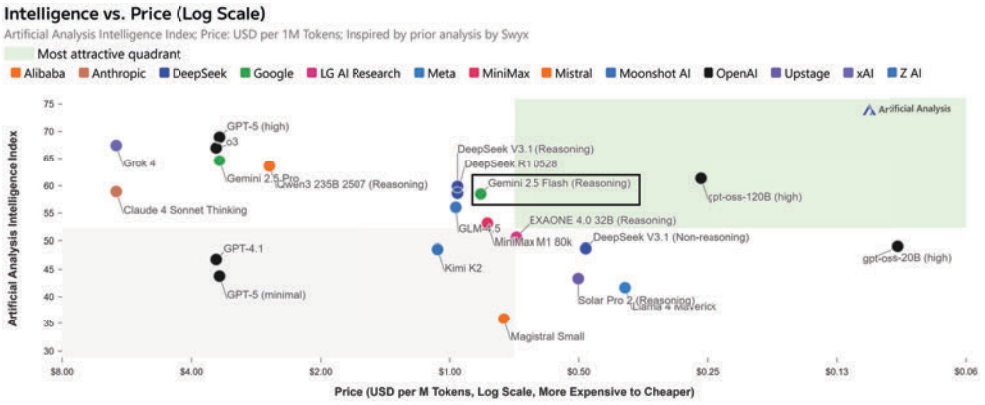



**Fig. 2. Grafica de Artificial Analysis, índice de inteligencia vs precio por millón de token.**

datos personales como dimensiones transversales en los proyectos de IA, garantizando el ejercicio de los derechos de la ciudadanía.

Siguiendo los lineamientos planteados por la guía,se especificarán las condiciones de uso y se notificará a los usuarios que están interactuando con un sistema de IA, y los contenidos generados por el mismo serán debidamente identificados como tales. Se minimizará la cantidad de datos procesados y se establecerán criterios para la seguridad de los datos.

Todas estas especificaciones se verán fielmente reflejados en las políticas de privacidad del sitio web. Las mismas deberán ser aceptadas por los usuarios antes de poner comenzar a comunicarse con el asistente conversacional.

Se busca asegurar el desarrollo de una herramienta tecnológica no solo eficaz, sino también ética, y transparente de los derechos fundamentales de las personas, construyendo una IA responsable. Para la implementación de nuestro LLM optamos por el modelo Gemini 2.5 Flash con razonamiento activado, es decir, realiza procesos de pensamiento estructurados y deliberados antes de proporcionar una respuesta final. La elección se basó en múltiples métricas principalmente obtenidas de Artificial Analysis[13], una plataforma independiente de análisis y comparación de modelos de inteligencia artificial y sus proveedores.

Considerando las métricas estudiadas por la plataforma, Gemini 2.5 Flash con razonamiento, se destaca entre las opciones que poseen el mayor índice de inteligencia. Además, posee precios muy bajos por millón de tokens y es el modelo más veloz (mayor cantidad de tokens de salida por segundo), entre otras métricas destacables.

Podemos resaltar como métrica más relevante la **Fig. 2**, la cual establece la relación entre inteligencia vs precio, donde en el eje X encontramos el precio por millón de Tokens y en el eje Y su nivel de inteligencia promedio según el índice de Artificial Analysis. Se busca estar en el cuadrante superior derecho donde encontramos que Gemini está muy cercano y los únicos modelos mejor posicionados son modelos de código abierto que requieren más hardware para correrlos, hardware con el cual no contamos en este proyecto.

Consideramos de suma importancia para el análisis de no solo que tan inteligente sería nuestro modelo, sino también en la sostenibilidad económica de su uso. Gemini 2.5 Flash con razonamiento, al estar alojado en la nube de Google, no requiere de grandes capacidades de hardware, a diferencia de algunas opciones gratuitas de código abierto. Otra característica que se analizó, fue cómo los proveedores de estos modelos manipulaban los datos. Según las políticas de privacidad actualizadas en junio de 2025 de la API de Ge-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



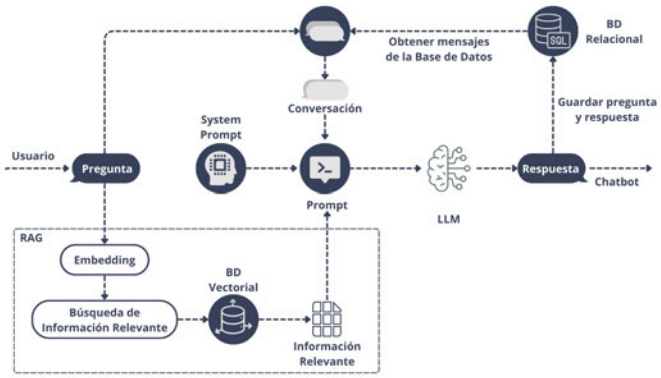



**Fig. 3. Flujo de datos (entrada/salida) del asistente conversacional.**

mini, en los servicios de pago, Google no utiliza los prompts ni las respuestas para entrenar sus modelos, limitando el almacenamiento a fines de seguridad y detección de abusos.

**Como está funcionando**

Actualmente, hemos implementado un asistente virtual con RAG integrado, con persistencia del historial de mensajes encriptado. Además, se ha implementado la funcionalidad para crear sesiones grupales, a las cuales se acceden mediante links específicos o códigos QR y una contraseña para mejor protección y fiabilidad de los datos. Funciones para añadir o eliminar bibliografía relevante al contexto que será consultada por el LLM. Las funcionalidades de procesamiento y cálculo de estadísticas a partir de los mensajes de los usuarios con el asistente conversacional todavía se encuentra en etapas de construcción. Cuando un usuario desea empezar una conversación con el asistente, primero pasa por una etapa de cuestionario. Este consiste en una serie de preguntas que permiten perfilar el nivel de riesgo que podría presentar el usuario y, además, si el usuario da su consentimiento, se obtiene la ubicación del dispositivo que está utilizando. A partir de los resultados de este formulario, el asistente conversacional abordará la temática de manera adecuada: será más delicado y brindará mayor apoyo en los casos de riesgo extremo, mientras que adoptará un enfoque más informativo/preventivo en aquellos en los que no se detecten riesgos graves. En ambos escenarios, el asistente ofrecerá recursos de profesionales de la salud cuando lo considere necesario, especialmente en situaciones en las que el usuario exprese una preocupación seria y exista un riesgo no sólo para sí mismo, sino también para sus pares. En estos casos, las capacidades del asistente virtual resultan limitadas y se vuelve esencial la intervención de un profesional.

El flujo de datos de una conversación del asistente se representa en la **Fig. 3**. Al inicio de la interacción, cuando el usuario formula una pregunta al asistente conversacional, esta es procesada mediante el sistema RAG. En este proceso, la consulta se transforma en un embedding y se compara con la base de datos de conocimiento, lo que permite recuperar los fragmentos de información más relevantes en función de su similitud semántica. Dichos fragmentos son incorporados al prompt con el fin de ampliar el contexto y enriquecer el conocimiento disponible para el LLM.

Adicionalmente, al prompt también se le incorpora el system prompt, encargado de definir el comportamiento esperado del modelo. Por último, se añade el historial de la conversación mantenida en la sesión, lo que garantiza que el modelo pueda sostener un hilo coherente, evitando la pérdida de informa-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



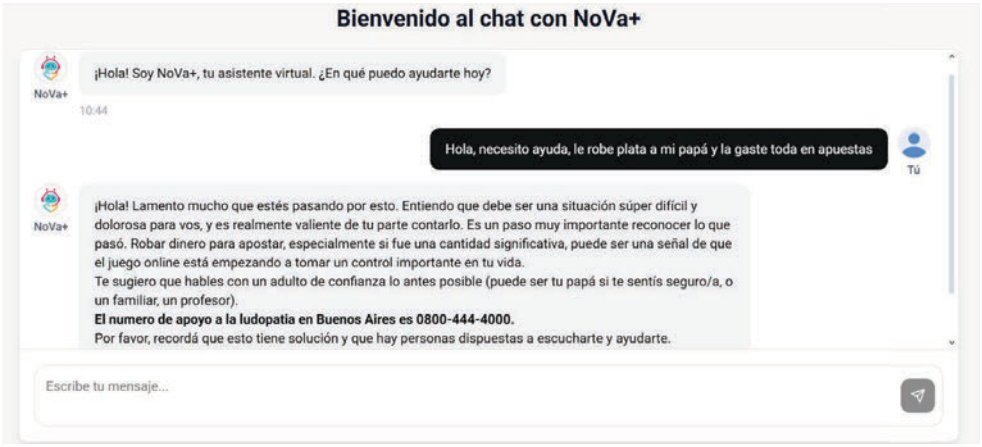



**Fig. 4. Ejemplo de conversación con usuario ficticio.**

ción previamente dada por el usuario.
Al final, todos estos elementos se integran y se proveen al modelo para generar la respuesta esperada. La misma será devuelta al usuario a través de la interfaz del asistente conversacional, y ambos, la pregunta del usuario y la respuesta del modelo serán almacenados en la base de datos relacional.
En la **Fig. 4** se muestra una posible conversación que refleja cómo un usuario con riesgo potencialmente alto podría interactuar con el asistente. En el caso expuesto, se ha utilizado una localización ficticia, no representante del lugar en el cual se realizó la conversación. Se debe tener en cuenta que el asistente dispone de un system prompt en sus primeras etapas de refinamiento, pero aun así, responde de manera adecuada a lo esperado.
El asistente conversacional logró brindar un espacio seguro para que el usuario expresara sus sentimientos, explicando los riesgos de la situación en la que se encuentra y sugiriendo posibles primeros pasos para salir de esta. Además, fue capaz de proporcionar un número de teléfono real de profesionales en función de la ubicación provista.

## Trabajos Relacionados

Llevamos a cabo una intensiva investigación para asegurarnos que no existía ya una herramienta desarrollada que aborde nuestros objetivos.
Analizamos tres herramientas de asistentes virtuales: Yana, Wyza y Woebot. Todas las opciones son accesibles a través de aplicaciones en dispositivos móviles y permiten a los usuarios acceder a un chat con un asistente virtual para buscar apoyo emocional.
Sin embargo, no encontramos ninguna herramienta orientada específicamente al apoyo para personas con problemas de ludopatía. Además, ninguna de estas aplicaciones ofrece la posibilidad de recopilar estadísticas sobre las conversaciones para su posterior análisis, una de las características centrales y distintivas de nuestro proyecto.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Hemos desarrollado un asistente conversacional para la prevención de apuestas online. Si bien, se encuentra en su primera versión estable. Las primeras reseñas del equipo de expertos en Psicología demuestran que se avanza en la dirección correcta. Estas observaciones permiten concluir que la herramienta podría aportar de manera significativa al trabajo de los expertos.
El proyecto ha sido validado por los expertos. Próximamente, será utilizado en el campo para realizar pruebas controladas, junto al grupo de Psicología, en escuelas secundarias, donde se detecten indicios de la problemática. Con estas pruebas se espera ofrecer a los estudiantes una herramienta de apoyo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que les permita expresarse en un espacio seguro y confidencial. Además de proveerles al grupo de investigación las estadísticas necesarias para analizar el nivel de riesgo que podrían presentar los estudiantes frente a las apuestas en línea. Como trabajos futuros se espera agregar estadísticas de las sesiones de los chats y administrar los usuarios que pueden ingresar a la página. También se podría plantear un modelo mejorado con RAG a través de un chat en WhatsApp, donde, tanto el público, como asistentes de pruebas controladas únicamente necesitan comunicarse con un número de teléfono estará específicamente configurado con el modelo que hemos descrito anteriormente y con un flujo de trabajo similar. Finalmente, se ha considerado la posibilidad de añadir, dentro de las estadísticas de los chats, la implementación de un modelo propio que detecte signos de ludopatía a partir de los mensajes enviados en tiempo real.

**Agradecimientos**

Agradecemos especialmente a nuestras directoras, Lorena Baigorria y Ana Garis, por su acompañamiento, dedicación y orientación a lo largo de este trabajo.

**Referencias**

[1] J. Rodríguez, *Ludopatía en la infancia. ¿Una nueva pandemia?*, *Medicina Infantil*, 2024. [En línea]. Disponible: https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1578950

[2] W. Martello, *Presentación del Observatorio de Adicciones y Consumos Problemáticos*, Observatorio de Adicciones y Consumos Problemáticos de la Defensoría del Pueblo de Buenos Aires, 2024. [En línea]. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/165JgLjvY-Ag6vvhRfcvkDowEpIIzVvD9/view

[3] UNICEF Argentina, *Apuestas online: un llamado de atención*, artículo, UNICEF Argentina, Noviembre 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.unicef.org/argentina/historias/apuestas-online

[4] A. Rubino, *Casi 4 de cada 10 estudiantes que apuestan en línea tienen conductas de riesgo y problemas de juego*, UNCiencia, Redacción UNCiencia, Noviembre 2024. [En línea]. Disponible en: https://unciencia.unc.edu.ar/psicologia/casi-4-de-cada-10-estudiantes-que-apuestan-en-linea-tienen-conductas-de-riesgo-y-problemas-de-juego

[5] S. Raschka, *Build a Large Language Model (From Scratch)*, Shelter Island, NY: Manning Publications, 2024

[6] T. B. Brown et al., *Language Models are Few-Shot Learners*, Proc. Adv. Neural Inf. Process. Syst. (NeurIPS), vol. 33, pp. 1877–1901, 2020

[7] A. Weidinger et al., *Ethical and social risks of harm from Language Models*, in Proc. ACM Conf. Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT), 2022. [En línea]. Disponible: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3531146.3533088

[8] European Commission, *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*, High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019. [En línea]. Disponible: https://ec.europa.eu/digital-strategy/sites/default/files/ethics-guidelines-trustworthy-ai.pdf

[9] Regulación de La Unión Europea 2024/1689, *Artificial Intelligence Act*, *Official Journal of the European Union*, L, vol. 1689, 2024

[10] X. Gao, Z. Liu, Y. Shen, T. Zhang, Y. Chen, X. Han, Z. Liu, y M. Sun, *Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey*, 2023. [En línea]. Disponible: https://arxiv.org/abs/2312.10997

[11] Vercel, *Next.js*, 2025. [En línea]. Disponible: https://nextjs.org

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[12] Agencia de Acceso a la Información Pública, *Guía para entidades públicas y privadas en materia de Transparencia y Protección de Datos Personales para una Inteligencia Artificial responsable*, 2024. [En línea]. Disponible: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/aaip-argentina-guia_para_usar_la_ia_de_manera_responsable.pdf

[13] Artificial Analysis, *Artificial Analysis*, 2025. [En línea]. Disponible: https://artificialanalysis.ai/

**Datos de Contacto**

*Fabrizio Riera Bauer. Universidad Nacional de San Luis. 5700. fabriziojriera@gmail.com*

*Maria Luciana Loyola. Universidad Nacional de San Luis. 5700. lucianaloyola30@gmail.com*

*Lorena Baigorria. Universidad Nacional de San Luis. 5700. lorenabaigorria@gmail.com*

*Ana Garis. Universidad Nacional de San Luis. 5700. agaris@email.unsl.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema de apoyo basado en chatbot para la evaluación de procesos agroecológicos

Autores
*Arce, Elias; Ana Perpiña; Alejandro Falcón; Sol Ferrer;*
*Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información*
*Facultad Regional Rosario - Universidad Tecnológica Nacional*
*E. Zeballos 1341, 2000 Rosario, Argentina*

**Resumen**

*La producción agroecológica se presenta como una alternativa sostenible frente al modelo agrícola convencional, al integrar principios ambientales, sociales y económicos en la producción de alimentos. No obstante, los mecanismos de verificación disponibles suelen ser costosos y burocráticos, lo que restringe la participación de pequeños productores y dificulta la confianza de los consumidores. El presente trabajo propone el diseño de un sistema de apoyo para la evaluación de procesos agroecológicos, centrado en el desarrollo de un chatbot en Telegram como herramienta orientada a una autoevaluación inicial de productores, con instancias presenciales de verificación realizadas por evaluadores.*

*Los resultados se registran en una plataforma web y se vinculan a los productos mediante un código QR, accesible en el producto final. Se espera que el sistema contribuya a fortalecer la transparencia en la cadena agroalimentaria, mejorar la trazabilidad y favorecer el reconocimiento de los pequeños productores.*

***Palabras clave:*** *Producción agroecológica, evaluadores, chatbot, pequeños productores, consumidor, consumo responsable, trazabilidad, buenas prácticas.*

## 1. Introducción

La agroecología representa un enfoque de producción alternativo a los modelos agrícolas convencionales, integrando principios ecológicos, sociales y económicos para promover sistemas alimentarios más sostenibles.

Según la FAO [1], la agroecología es "un enfoque integrado que aplica simultáneamente conceptos ecológicos y sociales al diseño y gestión de sistemas alimentarios y agrícolas" y busca optimizar las interacciones entre plantas, animales, seres humanos y el medio ambiente en un marco de equidad social. Este paradigma ha sido reconocido como una vía clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como se destaca en la publicación FAO's work on agroecology [1].

En América Latina y particularmente en Argentina, la agroecología ha cobrado relevancia en la agenda científica e institucional, con iniciativas lideradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), un ejemplo siendo la Red de Agroecología del INTA (Redae) junto a diversos proyectos de investigación y extensión en sus Estaciones Experimentales.

A pesar de estos avances, persisten desafíos estructurales en la adopción y validación de prácticas agroecológicas. Los procesos de certificación tradicionalmente disponibles (como los de producción orgánica) suelen implicar altos costos y carga burocrática, lo que limita la participación de pequeños productores. Además, los consumidores enfrentan una asimetría de información que dificulta distinguir los productos que cumplen realmente criterios agroecológicos.

En este contexto, el presente trabajo propone el desarrollo de un sistema de apoyo para la evaluación de procesos agroecológicos, cuyo núcleo consiste en evaluaciones presenciales que permiten verificar el cumplimiento de criterios productivos, sociales y ambientales. Complementariamente, el sistema integra diversas herramientas digitales, entre ellas un chatbot de Telegram, que facilitan la autoevaluación inicial y la consulta en tiempo real sobre prácticas agroecológicas.

Este enfoque busca superar las limitaciones de modelos de certificación actuales, facilitando el acceso a orientación técnica para los productores, aumentando la transparencia delante de los consumidores y fortaleciendo la trazabilidad de los procesos agroecológicos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En conjunto, el sistema constituye una estrategia interdisciplinaria orientada a potenciar la agroecología desde una perspectiva productiva e informativa.

En este trabajo se persigue como objetivo general diseñar e implementar un sistema de apoyo para la evaluación de procesos agroecológicos, combinando herramientas digitales (chatbot y plataforma web) con instancias presenciales de verificación.

Los objetivos específicos del proyecto son:

Desarrollar un chatbot en Telegram que permita a los productores realizar una autoevaluación guiada, utilizando cuestionarios estructurados basados en macro y microvariables de prácticas agroecológicas.

Diseñar e implementar una base de datos centralizada, capaz de almacenar, consultar y comparar los resultados de las evaluaciones, garantizando integridad y trazabilidad de la información.

Desarrollar una API de integración que vincule el chatbot con la plataforma web, facilitando la gestión de usuarios, el registro de respuestas y la visualización de resultados por parte de los evaluadores.

Implementar un sistema de trazabilidad mediante códigos QR, que asocie los resultados de la evaluación con los productos, permitiendo su consulta por consumidores y organismos de control.

Evaluar el sistema en entornos controlados, verificando su desempeño en términos de accesibilidad, facilidad de uso y utilidad para productores y evaluadores.

# 2. Marco Teórico

## 2.1. La agroecología como enfoque integral y sus criterios de evaluación

Altieri y Nicholls [2] describen la agroecología como “la aplicación de principios ecológicos al diseño y gestión de agroecosistemas sostenibles”, lo cual implica ir más allá de lo productivo para abarcar aspectos culturales, sociales y económicos. Este paradigma ha sido ampliamente adoptado en la región, con numerosas experiencias documentadas que destacan prácticas como la reducción del uso de agroquímicos, el empleo de bioinsumos y la diversificación productiva [3]. En síntesis, su evaluación debe considerar todo el proceso, desde la semilla hasta la distribución, incluyendo los aspectos humanos y comunitarios.

En contraste, la agricultura orgánica se centra principalmente en el cumplimiento de estándares de producción y la certificación del producto final, mientras que la agroecología amplía el alcance de la evaluación[4,9].

En este caso, se incorpora, tambien el criterio de precio justo [8,9], porque entendemos que las Buenas Prácticas Agroecológicas no pueden limitarse a lo técnico-ambiental. Es fundamental garantizar que los pequeños productores reciban una retribución acorde a su trabajo, y que los consumidores accedan a alimentos sanos a un valor razonable. Este principio refuerza la coherencia del sistema, al vincular la sostenibilidad ambiental con la justicia económica. Sobre la base de estos principios, la propuesta de este trabajo se centra en un sistema de evaluación construido a partir de 6 macrovariables, basadas en principios internacionales [8, 9] y adaptadas al contexto local con perspectivas de experiencias documentadas en el país[3]. Cada macrovariable se desagrega en microvariables que permiten registrar de forma precisa el nivel de cumplimiento de criterios agroecológicos.

Si bien existen metodologías internacionales como el TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation) de la FAO [1], que trabajan con indicadores estandarizados a nivel global, este proyecto adopta una versión simplificada y práctica. La intención es que la herramienta sea accesible para pequeños productores, sin requerir procesos de certificación costosos o excesivamente burocráticos. Además, la FAO [1] destaca que la agroecología requiere metodologías que integren tanto evidencia científica como saberes locales. Esto justifica la importancia de incluir encuestas, cuestionarios y visitas presenciales, ya que la validación de las prácticas no puede limitarse a autodeclaraciones.

## 2.2. Fundamentación de las macrovariables

La selección de variables para la evaluación de la producción agroecológica en este proyecto se basa en el reconocimiento de las etapas críticas de la cadena productiva y en la incorporación de dimensiones sociales y culturales que diferencian a la agroecología de la agricultura convencional. Se usan variables que reflejan tanto los aspectos técnicos de la producción como los valores sociales y culturales asociados a la agroecología [2]. Estas variables fueron seleccionadas ya que engloban los principios de la agroecología anteriormente mencionados [8]. De este modo, estas garantizan una evaluación coherente con los principios internacionales y las experiencias locales.

## 2.3. Evaluación referencial mediante puntaje

Para facilitar la autoevaluación de los productores y ofrecer un indicador cuantitativo del nivel de cumplimiento agroecológico, cada una de las seis macrovariables del sistema será calificada mediante un ”puntaje porcentual”, en función del grado de implementación de las prácticas correspondientes. Esto genera un ”índice de ecologicidad referencial” que, si bien representa un índice relativo, permite al productor identificar fortalezas y áreas de mejora.

Si bien las macrovariables suelen mantenerse estables, las microvariables (las preguntas específicas) son dinámicas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



y se adaptan a cada tipo de producto. Este enfoque se justifica por su simplicidad, ya que permite que tanto el productor como el evaluador validen el cumplimiento de las prácticas de manera clara y directa a través de un cuestionario estructurado.

## 3. Chatbots como herramientas de apoyo digital en el agro

El uso de chatbots en el sector agropecuario ha crecido en los últimos años como medio para democratizar el acceso a información técnica. En Argentina, DeepAgro desarrolló un asistente que responde consultas por WhatsApp y es utilizado en más de 60.000 hectáreas [5]. En la provincia de Neuquén, el chatbot PILHUE ofrece asesoramiento en huertas agroecológicas y compostaje a través de Telegram [6]. A nivel internacional, Farmer.Chat y Darli son ejemplos de chatbots basados en inteligencia artificial generativa que alcanzaron a miles de pequeños agricultores en África y América Latina [7].

## 4. Metodología de Desarrollo

### 4.1. Metas

El desarrollo del sistema busca cumplir con tres objetivos estratégicos fundamentales:

- Verificación Estandarizada: Establecer un mecanismo confiable para verificar el cumplimiento de las Buenas Prácticas Agroecológicas (BPAe) mediante un instrumento de evaluación estandarizado y objetivo.
- Asistencia en Campo: Asistir a evaluadores y productores en el proceso de captura de información, proporcionando la herramienta (chatbot) que garantiza que los datos se recolecten de manera ordenada, consistente y libre de errores.
- Mejora Continua: Apoyar la mejora continua de los sistemas productivos, transformando los datos recopilados en información accionable que permita identificar oportunidades de optimización en las prácticas agroecológicas.

### 4.2. Alcance del sistema

La captura de datos se realiza a través del chatbot (que constituye la interfaz principal del evaluador), guiándolo paso a paso y reduciendo la posibilidad de errores. Posteriormente, la información es enviada a través de una API centralizada que actúa como puente de comunicación, garantizando la integridad y seguridad de los datos en tránsito. Finalmente, la API entrega los datos a un backend centralizado, donde se almacenan de forma segura los registros y las evidencias asociadas (fotografías, documentos, observaciones) Importante aclarar que no contempla la integración automática con sistemas de monitoreo físico (por ejemplo con drones), ni garantiza una conectividad, dado que prevé un esquema de trabajo mixto con capacidad de sincronización offline.

### 4.3. Arquitectura y desarrollo del sistema

El desarrollo de este sistema de apoyo para la evaluación agroecológica se estructuró con tres metas fundamentales: estandarizar la verificación de prácticas, asistir en campo a evaluadores y productores, y promover la mejora continua. Para cumplir con estos objetivos, el sistema se diseñó bajo una arquitectura de prototipado rápido que integra una interfaz conversacional, una capa de gestión de lógica y datos, y un repositorio centralizado de conocimiento.

### 4.4. Chatbot en Telegram

La interfaz de usuario se implementó a través de un chatbot en la plataforma Telegram, creado con Bot-Father. La integración con la lógica de negocio se realiza mediante una API desarrollada en JavaScript, con la posibilidad de migrar a TypeScript en el futuro. Esta API gestiona la configuración del chatbot, procesa las respuestas de los productores y aplica la lógica de negocio antes de almacenar los datos.

Los datos se almacenan en una base de datos PostgreSQL, organizada en tablas diseñadas para gestionar el contenido de las encuestas y las respuestas de los productores. El sistema permite la carga de preguntas a través de la API, así como la creación de encuestas específicas mediante la combinación de preguntas. Esta funcionalidad permite un ajuste fino en la pertinencia de las preguntas y su peso, adaptándose según producto y variable (macro y micro).

La implementación se focaliza inicialmente en un grupo cerrado de productores. Para ello, la API genera un código QR que permite a los evaluadores contactar a los productores y otorgarles acceso directo a la encuesta. El acceso a esta funcionalidad requiere autenticación mediante tokens y hashes, garantizando un nivel básico de seguridad.

Una vez que las respuestas son recopiladas, los evaluadores pueden consultar los resultados a través de la API. Este artefacto digital proporciona una herramienta de diagnóstico previa a la evaluación presencial, lo que les permite corroborar la información de los productores y enfocar la visita en los aspectos que requieren mayor atención. A continuación se muestra un gráfico explicativo de cómo sería el funcionamiento del sistema

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



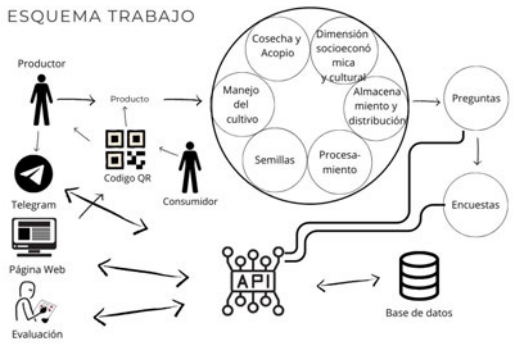



**Figura 1. Ejemplo de como sería el esquema de trabajo incluyendo el chatbot y demás herramientas**

### 4.5. Fundamentación tecnológica y criterios de diseño

La elección de Telegram como interfaz para el chatbot responde a su creciente uso en entornos hispanohablantes, su flexibilidad para el desarrollo de bots y las funcionalidades de privacidad y seguridad que ofrece frente a otras plataformas de mensajería. Estas características lo hacen especialmente adecuado para contextos rurales, donde resulta fundamental garantizar la confianza y la accesibilidad tecnológica.

El sistema fue concebido para funcionar en condiciones de conectividad limitada, algo común en zonas rurales argentinas. Por este motivo se adoptó un esquema híbrido que permite la operación offline y la sincronización automática de datos cuando la conexión se restablece.

A nivel de arquitectura de datos, se optó por PostgreSQL debido a su capacidad de gestionar información relacional junto con estructuras flexibles (como JSON), su fiabilidad transaccional y el hecho de tratarse de software libre, lo cual resulta pertinente en proyectos de extensión agroecológica con recursos acotados.

Finalmente, el diseño modular del sistema permite incorporar de manera progresiva nuevas macro y microvariables de evaluación, adaptando tanto el chatbot como la plataforma web según la diversidad de contextos productivos. Este enfoque facilita además la escalabilidad y la posibilidad de integrar futuras herramientas de inteligencia artificial generativa.

### 4.6. Flujo de uso y conectividad con evaluadores

El sistema se proyecta como una solución híbrida: los productores realizan una autoevaluación mediante el chatbot, mientras que los evaluadores complementan esta información con visitas presenciales.

- El productor accede a la encuesta mediante un código QR generado por la API.
- Completa el cuestionario guiado, obteniendo un puntaje preliminar sobre el cumplimiento de prácticas agroecológicas.
- La información se almacena en la base de datos y se envía a la plataforma web para ser consultada por los evaluadores.

## 5. Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo propone un sistema innovador que combina evaluación presencial y asistencia digital para brindar un acompañamiento a pequeños productores en la transición agroecológica. El enfoque busca no solo facilitar el acceso a información especializada sino también promover prácticas más sostenibles y un manejo eficiente de los recursos. Entre los aportes más relevantes se destaca: mayor accesibilidad a información técnica, herramientas prácticas de autoevaluación, transparencia en el proceso productivo. Como trabajo futuro se plantea ampliar la base de conocimiento del chatbot con técnicas de IA generativa, validar el modelo en diferentes tipos de cultivos y regiones, y desarrollar métricas comparativas que permitan construir indicadores de agroecología a nivel regional. Ademas, se identifican diversas oportunidades de mejora que permitirán fortalecer y ampliar el alcance del sistema. En primer lugar, resulta necesario extender la base de microvariables utilizadas en la evaluación, incorporando nuevos indicadores que reflejen con mayor precisión la diversidad de prácticas agroecológicas en distintos contextos productivos. Asimismo, se proyecta la extensión del sistema a una mayor variedad de cultivos y regiones, lo que favorecerá la escalabilidad de la herramienta y su aplicación en diversos escenarios de trabajo. Otra línea de mejora consiste en la incorporación de canales alternativos de comunicación, como WhatsApp.

Como líneas futuras, se propone avanzar en pruebas de campo controladas con productores reales, orientadas a validar tanto la usabilidad como la efectividad del sistema en distintos contextos productivos. Estas pruebas permitirán cuantificar beneficios operativos mediante variables como:

Tiempo promedio de evaluación por productor.

Grado de satisfacción y facilidad de uso percibida por productores y evaluadores.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Nivel de adopción y retención del uso del chatbot tras un período de acompañamiento.

A su vez, se plantea incorporar indicadores de desempeño comparativo que permitan contrastar los resultados obtenidos con los de herramientas de diagnóstico y autoevaluación ya disponibles (por ejemplo, planillas del INTA o sistemas basados en TAPE–FAO). Entre los indicadores posibles se incluyen: eficiencia del proceso de evaluación (tiempo vs. completitud), consistencia en la calificación de variables agroecológicas y porcentaje de coincidencia con la evaluación presencial.

La incorporación de estas métricas permitirá validar empíricamente la solidez del modelo propuesto, ofreciendo evidencia cuantitativa sobre su aporte ingenieril. De esta manera, el sistema podrá evolucionar desde una herramienta de apoyo conceptual hacia una plataforma validada de asistencia técnica.

## Referencias

[1] FAO. (2018). *FAO's work on agroecology: A pathway to achieving the SDGs*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[2] Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2012). *Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Editorial correspondiente.

[3] INTA. (2022). *Experiencias de transición agroecológica en Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

[4] HLPE. (2019). *Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition*. High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition.

[5] La Nación. (2025). [Su invento se usa en miles de hectáreas, crearon el "ChatGPT del agro" y buscan sorprender en Estados Unidos y Brasil]. *La Nación*. https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/emprendedores-su-invento-se-usa-en-miles-de-hectareas-crearon-el-chatgpt-del-agro-y-buscan-nid22032025

[6] Revista Chacra. (2023). [Inteligencia artificial aplicada a la huerta agroecológica y al compostaje]. *Revista Chacra*. https://www.agrolatam.com/nota/57610-inteligencia-artificial-aplicada-a-la-huerta-agroecologica-y-al-compostaje/

[7] Farmer.CHAT. (2024). https://www.help.gooey.ai/farmerchat.

[8] IFOAM. (2005). *Principles of Organic Agriculture*. International Federation of Organic Agriculture Movements.

[9] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2020). *Manual de Buenas Prácticas Agropecuarias*. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/bpa/bibliografia/manual_BPA_obligatorias.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Diseño y Arquitectura de un Sistema de Gestión del Conocimiento para la Industria Citrícola de Tucumán

**Batista, Mauricio Agustín**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

## Resumen

*La industria citrícola de Tucumán enfrenta desafíos críticos en la gestión y transferencia del conocimiento operativo, lo que impacta en la eficiencia, la capacitación y la competitividad del sector. Este trabajo presenta el diseño conceptual de SaberCitrícola, un sistema de gestión del conocimiento orientado a centralizar, resguardar y facilitar el acceso a saberes y buenas prácticas en la cadena citrícola local. La propuesta integra modelos teóricos consolidados, requisitos adaptados al contexto regional y una arquitectura modular compuesta por repositorio de conocimiento, módulo de capacitación y tablero de indicadores clave. Se detallan los requisitos funcionales y no funcionales, los flujos principales y los escenarios de uso, destacando la alineación con las necesidades del sector y los desafíos tecnológicos y culturales existentes. Finalmente, se analizan los beneficios esperados y las líneas futuras para la validación e implementación empírica del sistema.*

## Introducción

La industria citrícola en Tucumán representa uno de los pilares económicos de la provincia, debido a su gran relevancia se enfrenta a múltiples desafíos constantemente y uno de los más importantes pero menos desarrollados es el desafío de cómo gestionar correctamente el conocimiento operacional.

Sus operaciones son internacionales y muchos procesos claves, como la cosecha, se realizan sin apoyo de sistemas formales que capturen y democraticen el saber operativo, lo que conlleva a la pérdida del saber tras la rotación de empleados, dificultades para capacitar a nuevos empleados, baja capacidad de adaptación a cambios tecnológicos y desaprovechamiento de las oportunidades de mejora.

Si bien existen algunos intentos de sistematización, la mayoría de las soluciones tecnológicas no logran adaptarse al contexto específico de la citricultura tucumana.

El propósito de este trabajo es diseñar un sistema de gestión del conocimiento adaptado al sector citrícola, que permita centralizar, resguardar y facilitar el acceso a saberes y buenas prácticas.

## Estado del Arte

Para comprender qué se entiende por gestión del conocimiento, es menester destacar que no existe una única definición. Al tratarse de un campo multidisciplinario, su conceptualización varía según el ámbito de aplicación y la región de estudio.

En este trabajo, el enfoque adoptado proviene de la ingeniería en sistemas y se orienta específicamente al contexto de la industria citrícola del Noroeste Argentino (NOA).

Uno de los aportes más influyentes en la definición de la gestión del conocimiento es el de Davenport y Prusak (1998), quienes la entienden a partir de su concepción de conocimiento como “una mezcla fluida de experiencia enmarcada, valores, información contextual y comprensión experta, que proporciona un marco para evaluar e incorporar nuevas experiencias e información. Se origina y aplica en la mente de los conocedores, y en las organizaciones suele quedar plasmado no sólo en documentos o repositorios, sino también en rutinas, procesos, prácticas y normas organizativas”. [1]

Además de la definición de Davenport y Prusak [1], desde la perspectiva de sistemas de información, Alavi y Leidner sintetizan la gestión del conocimiento como un conjunto de procesos organizacionales —creación, almacenamiento/recuperación, transferencia y aplicación— que los sistemas de gestión del conocimiento (KMS) deben habilitar mediante capacidades concretas como repositorios estructurados, buscabilidad efectiva, herramientas de colaboración e integración a los flujos de trabajo [2]. Este enfoque socio-técnico subraya que las tecnologías crean posibilidades, pero la adopción y el valor emergen del acoplamiento con cultura, incentivos y diseño de procesos.

Autores como Nonaka y Takeuchi (1995) profundizan en la dinámica social de la creación del conocimiento, diferenciando entre conocimiento tácito (personal, basado en la experiencia) y explícito (formalizado, documentado), y proponen el modelo SECI (socialización, exteriorización, combinación e interiorización) para explicar la transformación y flujo entre ambos tipos [3].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Por otra parte, Riesco (2004) y Paniagua-López (2007) han desarrollado modelos adaptados al contexto iberoamericano, en los que se enfatizan los aspectos culturales, tecnológicos y estratégicos involucrados en la gestión del conocimiento organizacional, especialmente en sectores productivos como la agroindustria [4][5].

En el sector agrícola, la gestión del conocimiento resulta fundamental para la innovación y competitividad, como refiere Holsapple (2013) en su revisión sobre sistemas y herramientas de gestión del conocimiento aplicados a la producción y operaciones [6].

En una revisión comparativa de 160 marcos, Heisig identifica un núcleo común de procesos (crear/adquirir, almacenar, compartir, aplicar) y un conjunto de habilitadores recurrentes (personas y competencias, procesos, tecnología, liderazgo/cultura y medición) [7]. Esta convergencia sugiere que, aun con diferencias sectoriales o regionales, las prácticas efectivas comparten estructura; la personalización ocurre en la implementación. Para el contexto productivo del NOA, esto implica priorizar habilitadores críticos sin apartarse de procesos canónicos de GC.

King integra la GC con el aprendizaje organizacional, destacando que los mecanismos de transferencia (comunidades de práctica, mentoring, repositorios) deben evaluarse por su impacto en el desempeño y en la capacidad de aprendizaje de la organización [8]. Ello orienta la evaluación del sistema no solo a métricas de uso, sino a indicadores operativos como reducción de retrabajos, tiempo de inducción y cumplimiento de buenas prácticas.

Desde una perspectiva complementaria, Wiig propone gestionar no solo la existencia sino la calidad del conocimiento, con criterios como completitud, consistencia, exactitud, actualidad y accesibilidad, y actividades de construir, retener, compartir y usar [9]. Estos criterios son pertinentes para gobernar contenidos y su vigencia en industrias reguladas y estacionales como la citrícola.

Finalmente, Dalkir articula un ciclo integrado de GC que operacionaliza la práctica mediante herramientas concretas: auditorías y mapas de conocimiento, lecciones aprendidas, revisiones después de la acción y roles definidos de gobernanza [10]. Este enfoque facilita traducir los modelos teóricos en artefactos y procesos implementables en un KMS orientado a campo, adecuado a conectividad intermitente y a la alta rotación de personal en el NOA.

En las últimas décadas, la transformación digital en la agroindustria ha impulsado el desarrollo de diversas soluciones tecnológicas destinadas a la gestión del conocimiento. A nivel internacional, organismos como la FAO y el CIMMYT han promovido el uso de plataformas de extensionismo digital y repositorios colaborativos para la diseminación de buenas prácticas agrícolas, recomendaciones técnicas y capacitación [11]. Asimismo, varias empresas agroindustriales han adoptado sistemas de gestión documental (como SharePoint, Alfresco u OpenKM) y herramientas genéricas de gestión del conocimiento integradas a ERPs, orientadas a formalizar procedimientos y almacenar manuales operativos [6].

En el caso particular de la citricultura, la literatura identifica una escasez de sistemas informáticos orientados específicamente a la sistematización y transferencia del conocimiento operativo y tácito en los distintos eslabones de la cadena productiva. La mayoría de las soluciones digitales observadas localmente se limitan a la gestión de documentación o trazabilidad técnica, sin abordar la captura ni el flujo del conocimiento implícito generado en la actividad diaria de operarios y mandos medios [4]. Además, los portales institucionales nacionales y provinciales (INTA, SENASA) ofrecen repositorios de guías, normativas y capacitaciones generales, pero carecen de funcionalidades interactivas para la gestión integral y contextualizada del saber organizacional en la industria citrícola.

Respecto a la adaptación al contexto regional, se evidencia que estas plataformas no consideran plenamente las particularidades socioculturales, la alta rotación de personal ni la estacionalidad característica del sector tucumano. Los sistemas genéricos suelen presentar interfaces y metodologías de uso pensadas para organizaciones de gran escala, dificultando la apropiación tecnológica en las pymes locales. Además, existe una brecha significativa en la digitalización y sistematización del conocimiento relacionado con los procesos críticos como la cosecha, clasificación y logística del limón [5].

Los resultados y logros alcanzados por los trabajos previos, aunque muestran ciertas mejoras en la eficiencia de recambio y capacitación mediante acceso a documentación digitalizada, son limitados en su impacto a largo plazo. Las dificultades reportadas incluyen la baja participación de los usuarios finales, la falta de actualización dinámica y la resistencia cultural a compartir conocimiento tácito, el cual sigue transmitiéndose predominantemente en forma oral [1]. Los principales problemas no resueltos son la sistematización del saber experiencial, la motivación para la colaboración interna y la integración efectiva de herramientas de gestión del conocimiento con la toma de decisiones operativas.

En este sentido, la revisión de propuestas actuales indica que no están completamente alineadas con las necesidades de la industria citrícola tucumana. Destacan desafíos específicos como la falta de estandarización en la capacitación, la dispersión de información relevante, la carencia de indicadores de desempeño adaptados al sector y la escasa penetración de sistemas informáticos en el trabajo diario de campo [12]. Además, la crisis productiva y los procesos de desinversión agravan la situación, haciendo necesario fortalecer tanto la cultura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



organizacional como las capacidades de innovación y adaptación tecnológica.

La literatura identifica vacíos significativos y oportunidades de mejora en la gestión del conocimiento de la citricultura tucumana, especialmente en la digitalización del conocimiento tácito, la creación de repositorios integrados, el diseño de tableros de control operativos y la facilitación de la transferencia intergeneracional de saberes [13].

Estudios sectoriales recientes confirman que la problemática de la gestión y transferencia del conocimiento operativo en la citricultura tucumana persiste y se agrava ante los desafíos de la digitalización, la rotación de personal y los requisitos crecientes de calidad internacional [14], [15], [16]. Diversos reportes institucionales y académicos insisten en la ausencia de soluciones digitales sectoriales focalizadas y la necesidad de herramientas adaptadas, validando así la oportunidad y pertinencia de la presente propuesta [17], [18].

Por todo lo expuesto, resulta justificable la necesidad de una nueva propuesta tecnológica como "SaberCitrícola" un sistema de gestión del conocimiento diseñado específicamente para el sector, capaz de centralizar, proteger y transferir conocimiento operativo y estratégico, integrando indicadores adaptados y metodologías participativas para fortalecer la competitividad y la sostenibilidad del sector a nivel local.

## Objetivo General

Diseñar un sistema de gestión del conocimiento adaptado a la industria citrícola de Tucumán, capaz de centralizar, resguardar y facilitar el acceso y la transferencia de saberes operativos y buenas prácticas, contemplando las particularidades organizacionales, tecnológicas y culturales del sector.

## Objetivos Específicos

Relevar y analizar los requerimientos funcionales y no funcionales que debe satisfacer un sistema de gestión del conocimiento en el contexto citrícola tucumano.

Sintetizar los principales modelos teóricos de gestión del conocimiento aplicables al sector agroindustrial y adaptarlos como marco conceptual de la propuesta.

Diseñar la arquitectura conceptual y los componentes principales del sistema SaberCitrícola, integrando módulos de repositorio, gestión de procesos, capacitación e indicadores de gestión.

Elaborar escenarios de uso y mockups que permitan visualizar la operatoria clave del sistema, considerando la diversidad de perfiles de usuarios y las barreras tecnológicas identificadas.

Identificar los indicadores clave para el monitoreo de la gestión del conocimiento y la toma de decisiones operativas en la citricultura.

Justificar la relevancia y factibilidad de la propuesta en comparación con soluciones existentes, marcando su aporte a la mejora de la competitividad y sostenibilidad del sector.

## Metodología

La presente investigación adopta un enfoque metodológico de tipo descriptivo y proyectivo, fundamentado en la ingeniería de software y la gestión de conocimiento aplicada. El proceso metodológico se estructuró en las siguientes etapas:

### 1. Relevamiento del contexto y análisis de requerimientos

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva sobre gestión de conocimiento en agroindustria y sistemas informáticos similares, identificando tanto modelos teóricos relevantes (Paniagua-López, Nonaka & Takeuchi, Riesco) como proyectos y plataformas tecnológicas existentes a nivel internacional y local. Paralelamente, se analizaron los desafíos específicos del sector citrícola tucumano, tales como la estacionalidad, alta rotación laboral y predominancia de conocimiento tácito.

### 2. Síntesis de requisitos funcionales y no funcionales

A partir del estado del arte y la experiencia sectorial previa, se definieron los requisitos que debería satisfacer el sistema propuesto. Los requisitos funcionales incluyeron la centralización y resguardo del conocimiento estratégico, la facilidad para documentar buenas prácticas, la generación de indicadores operativos y herramientas de capacitación interna; los requisitos no funcionales incluyeron facilidad de uso, seguridad, flexibilidad, robustez, mantenibilidad y compatibilidad.

### 3. Modelado y diseño conceptual

Se emplearon técnicas de modelado de procesos y diagramas de arquitectura para definir la estructura del sistema SaberCitrícola. Los módulos principales contemplados en el diseño incluyen repositorio documental, tablero de control de indicadores, módulos para capacitación y herramientas de transferencia de conocimiento. Se realizaron diagramas de flujo y wireframes para visualizar escenarios de uso y la interacción entre usuarios y sistema.

### 4. Validación teórica y comparación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El diseño conceptual se comparó con modelos y plataformas existentes, identificando los puntos de mejora, adaptación y diferenciación respecto a las alternativas genéricas. Se destaca la alineación con los procesos productivos reales y la inclusión de indicadores diferenciados para la gestión operativa en citricultura.

### 5. Propuesta de arquitectura y funcionalidades

Como resultado, se presenta un prototipo conceptual del sistema, detallando sus principales componentes, interacciones y potencial impacto sobre la eficiencia y la transferencia de saberes en el sector.

## Propuesta

La propuesta consiste en el diseño conceptual de SaberCitrícola, un sistema dirigido a la gestión del conocimiento operativo y estratégico de la industria citrícola de Tucumán. Este sistema responde a la necesidad de centralizar, resguardar, compartir y actualizar continuamente los saberes críticos del sector, adaptándose a un contexto caracterizado por alta rotación de personal y la frecuente transmisión oral del conocimiento.

SaberCitrícola se fundamenta en modelos reconocidos de gestión del conocimiento, como el de Paniagua-López, Nonaka & Takeuchi y Riesco, e incorpora buenas prácticas de ingeniería de software y diseño centrado en el usuario, con una interfaz intuitiva y adecuada tanto para operarios como para mandos medios.

### Especificación de Requisitos del Sistema

**Tabla 1. Requisitos del Sistema SaberCitrícola**

| Requisitos Funcionales | Requisitos no Funcionales |
|---|---|
| RF1. Permitir el almacenamiento, edición y consulta de documentos, manuales operativos, buenas prácticas, y recursos multimedia. | RNF1. Usabilidad: La interfaz debe ser intuitiva y accesible para usuarios con distintos niveles de alfabetización digital. |
| RF2. Facilitar la carga y administración de capacitaciones, lecciones aprendidas y material didáctico. | RNF2. Seguridad: Los datos y documentos deberán contar con mecanismos de autenticación y autorización, garantizando la privacidad y protección de la información crítica. |
| RF3. Gestionar diferentes perfiles de usuario (operario, supervisor, administrador, experto), otorgando permisos diferenciados según rol. | RNF3. Flexibilidad: El sistema debe permitir su adaptación y escalabilidad para futuras integraciones (tecnologías emergentes, módulos nuevos). |
| RF4. Habilitar la búsqueda, filtrado y recuperación eficiente de saberes y documentos. | RNF4. Robustez: Garantizar el correcto funcionamiento bajo distintos niveles de conectividad, incluyendo soporte offline con sincronización posterior de datos. |
| RF5. Generar y visualizar indicadores clave de gestión, tales como avance de capacitaciones, frecuencia de errores, participación en repositorio y métricas de adopción de buenas prácticas. | RNF5. Mantenibilidad: El sistema debe permitir el fácil mantenimiento y actualización de contenidos y funcionalidades. |
| RF6. Registrar feedback de los usuarios, permitiendo proponer mejoras, reportar incidentes y comentar sobre contenidos. | RNF6. Compatibilidad: Debe poder integrarse con sistemas preexistentes de gestión empresarial y plataformas digitales del sector agroindustrial (por ejemplo, ERP local, portales INTA, etc.). |
| RF7. Actualizar y versionar contenidos, asegurando la vigencia y trazabilidad de los documentos. | |
| RF8. Proporcionar acceso multiplataforma (PC, tablet, smartphone), contemplando los distintos entornos de uso en la industria. | |

### Componentes Principales del Sistema

El sistema se concibe como una plataforma modular, conformada por los siguientes componentes:

**a) Repositorio Central de Conocimiento:**

Permite almacenar, organizar y acceder a documentos, procedimientos, manuales operativos, buenas prácticas, videos y recursos multimedia relevantes a cada etapa productiva (ej. cosecha, empaque, logística).

**b) Módulo de Capacitación y Transferencia:**

Incluye capacitaciones estructuradas, lecciones aprendidas, preguntas frecuentes (FAQ) y evaluaciones para la inducción rápida de nuevos empleados y actualización de personal.

**c) Gestión de Sesiones y Control de Accesos:**

Implementa distintos perfiles de usuario (operario, supervisor, administrador, experto), regulando permisos sobre edición, carga y visualización de información.

**d) Tablero de Indicadores Clave (Dashboard):**

Visualiza métricas relevantes para la gestión operacional y el desempeño: tiempos operativos, frecuencia de errores, avance de capacitaciones, participación en repositorio, etc., facilitando la toma de decisiones basada en datos.

**e) Módulo de Retroalimentación y Mejora Continua:**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Permite reportar incidentes, proponer nuevas buenas prácticas y dar feedback sobre los recursos compartidos, fomentando la actualización dinámica del conocimiento.

## Arquitectura y Diseño Conceptual

SaberCitrícola adopta una arquitectura cliente-servidor basada en web, lo que posibilita el acceso multiplataforma (PC, tablets, smartphones). Los módulos interactúan a través de una API interna que garantiza la interoperabilidad y futura escalabilidad del sistema, facilitando su integración con otros sistemas de gestión ya existentes.

### Diagrama conceptual simplificado

Front-end web: Interfaz principal de acceso para los diferentes perfiles de usuario.

Back-end: Motor de procesamiento, lógica de negocio y gestión de datos.

Base de datos de conocimiento: Repositorio estructurado para documentos, contenidos multimedia y metadatos.

Dashboard de indicadores: Motor de generación y visualización de KPIs personalizados.

Servicios de autenticación y gestión de usuarios: Control de permisos y perfiles.

La arquitectura propuesta para SaberCitrícola responde a la necesidad de centralizar y gestionar eficientemente el conocimiento, la capacitación y el seguimiento de actividades en la industria citrícola de Tucumán. El sistema se organiza en módulos y roles definidos, facilitando la interacción y el flujo de información entre todos los actores relevantes del proceso productivo.

### Componentes principales

App SaberCitrícola: Es el núcleo del sistema, donde se centraliza la gestión y consulta de conocimiento operativo y actividades. Actúa como intermediario entre los usuarios y los diversos módulos.

Base de Conocimiento: Repositorio central que almacena información relevante sobre procesos, procedimientos, documentos, buenas prácticas y recursos multimedia. Permite guardar, actualizar y recuperar información crítica para los distintos roles.

Módulo de Capacitación y Seguimiento: Facilita la creación, administración y monitoreo de programas de capacitación para empleados. Permite hacer un seguimiento del progreso, notificar sobre actividades y medir el impacto de las capacitaciones.

### Roles de Usuario

Administrador: Gestiona usuarios, administra actividades y accede al tablero de control para tomar decisiones basadas en datos del conocimiento y desempeño del personal.

Experto: Crea y actualiza contenido técnico, diseñando actividades y nuevas capacitaciones en base a necesidades del sector.

Empleados: Consultan el conocimiento disponible, acceden a programas de capacitación, reciben notificaciones y actualizaciones sobre actividades y pueden visualizar su propio progreso.

### Interacciones

Los administradores gestionan usuarios y visualizan el tablero de indicadores, accediendo tanto a información de la base de conocimiento como al seguimiento de actividades.

Los expertos alimentan la base de conocimiento, generando y actualizando contenidos, guías y actividades de formación.

Los empleados acceden al conocimiento disponible, completan capacitaciones y reciben notificaciones personalizadas sobre sus actividades y avances.

El módulo de capacitación permite monitorear el avance de los empleados y notificar al administrador sobre logros o necesidades de refuerzo.

Esta arquitectura modular facilita la escalabilidad del sistema y la integración de nuevas funcionalidades a futuro, tales como la incorporación de tableros avanzados, inteligencia artificial para análisis predictivo, o nuevos módulos para integración con sistemas de gestión empresarial.

La figura 1 ilustra los principales flujos de información y la distribución de responsabilidades dentro del sistema.

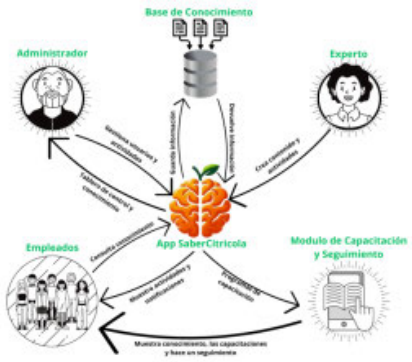



**Figura 1. Arquitectura de la solución SaberCitrícola.**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Mockups y Escenario de Uso

Se desarrollaron wireframes que representan los flujos principales del sistema:

Inicio de sesión y selección de perfil.

Acceso al repositorio (búsqueda, filtrado, visualización y descarga de recursos).

Registro, consulta y seguimiento de capacitaciones.

Visualización personalizada de tableros de indicadores, con alertas para eventos críticos o bajo desempeño.

Envío de sugerencias, informes de problemas o nuevas buenas prácticas.

**Escenario típico:**

Un supervisor identifica un nuevo procedimiento óptimo durante la cosecha. Ingresa al sistema, documenta la práctica en el repositorio y la vincula a un video instructivo. Los operarios acceden a este recurso desde sus dispositivos antes de comenzar la jornada, rinden un breve cuestionario y su progreso queda registrado. El director de operaciones, mediante el dashboard, verifica la adopción de la nueva práctica y su impacto en la reducción de errores.

### Adaptabilidad y Sostenibilidad

El sistema fue diseñado tomando en cuenta:

Limitaciones de conectividad rural (soporte offline con sincronización periódica).

Facilidad de uso para personal con diferentes niveles de alfabetización digital.

Escalabilidad para futuras integraciones (ej. IA para análisis predictivo, IoT para captura automatizada de datos en campo).

Gobernanza del conocimiento, garantizando actualización constante y control de calidad de los contenidos.

### Ventajas frente a alternativas existentes

SaberCitrícola se diferencia de soluciones genéricas por su:

Foco en procesos y saberes específicos del sector citrícola tucumano.

Inclusión de capacitación contextualizada y seguimiento operativo.

Generación de indicadores de gestión adaptados al contexto local.

Sostenibilidad y escalabilidad alineadas con los desafíos culturales y tecnológicos del sector.

## Trabajos Futuros

Cabe destacar que el presente trabajo constituye una aproximación introductoria y exploratoria a la problemática de la gestión del conocimiento en la industria citrícola regional. Se plantea como un punto de partida conceptual y metodológico, cuyo objetivo principal es sentar las bases para el desarrollo de soluciones tecnológicas sectoriales.

Como línea de trabajo futuro se propone avanzar en la profundización y validación de cada uno de los módulos y componentes definidos en la arquitectura conceptual, a través de la implementación de prototipos funcionales, pruebas piloto con actores del sector, y evaluaciones empíricas de los beneficios esperados. Asimismo, se proyecta abordar en próximas publicaciones el análisis detallado de estrategias de adopción, la integración de nuevas tecnologías (como inteligencia artificial para análisis predictivo), y la medición del impacto organizacional de la innovación propuesta.

De esta forma, el presente artículo busca iniciar un recorrido de mejora continua y especialización, abriendo nuevos interrogantes y desafíos para la gestión del conocimiento en el ámbito agroindustrial tucumano.

## Conclusión

El diseño del sistema SaberCitrícola representa un avance estratégico en la gestión del conocimiento para la industria citrícola de Tucumán, abordando las necesidades específicas del sector en cuanto a centralización, resguardo y transferencia de los saberes operativos y buenas prácticas. La solución propuesta, basada en marcos teóricos consolidados y adaptada al contexto productivo, permite fortalecer la capacitación interna, la captura del conocimiento tácito y la generación de indicadores clave para la mejora continua.

La arquitectura modular y los flujos planteados garantizan la adaptabilidad tecnológica y la inclusión de diferentes perfiles de usuarios, desde operarios hasta mandos medios, ofreciendo una herramienta alineada con la realidad socioproductiva local. Se espera que la implementación futura de SaberCitrícola impacte positivamente en la reducción de tiempos de capacitación, la estandarización de procesos y la mejora de la competitividad en el sector.

Como trabajo futuro, se propone profundizar el prototipado del sistema, realizar pruebas piloto con actores de la citricultura tucumana y validar empíricamente los beneficios operativos y organizacionales de la propuesta. La integración de nuevas tecnologías, como inteligencia artificial para análisis predictivo y el uso de tableros de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



control avanzados, constituye una línea de desarrollo relevante para consolidar la gestión del conocimiento en la industria y contribuir a su sostenibilidad.

**Datos de Contacto: (Times New Roman, 10, negrita)**
*Mauricio, Agustín Batista. UTN-FRT. 4000. Batistamauricio3099@gmail.com.*

## Referencias

[1] T. H. Davenport and L. Prusak, Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. Boston, MA, USA: Harvard Business School Press, 1998.

[2] M. Alavi and D. E. Leidner, "Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues," MIS Quarterly, vol. 25, no. 1, pp. 107–136, 2001.

[3] I. Nonaka and H. Takeuchi, The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1995.

[4] M. Riesco, Gestión del conocimiento en ámbitos empresariales: modelo integrado - situacional. Salamanca, Spain: Universidad Pontificia de Salamanca, 2004.

[5] E. Paniagua y B. López, La gestión tecnológica del conocimiento. Murcia, Spain: Universidad de Murcia, 2007.

[6] C. W. Holsapple, Ed., Handbook on Knowledge Management 1: Knowledge Matters, vol. 1. Berlin, Germany: Springer, 2013.

[7] P. Heisig, "Harmonisation of Knowledge Management – Comparing 160 KM Frameworks," Journal of Knowledge Management, vol. 13, no. 4, pp. 4–19, 2009.

[8] W. R. King, "Knowledge Management and Organizational Learning," in Knowledge Management and Organizational Learning, Annals of Information Systems, vol. 4, W. R. King, Ed. Boston, MA, USA: Springer, 2009.

[9] K. M. Wiig, "Knowledge Management: An Introduction and Perspective," Journal of Knowledge Management, vol. 1, no. 1, pp. 6–14, 1997.

[10] K. Dalkir, Knowledge Management in Theory and Practice, 3rd ed. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2017.

[11] FAO, "E-Agriculture: New ICT Solutions for Agriculture," FAO report, 2020.

[12] INTA, "Gestión de conocimiento en procesos agroindustriales," Boletín Técnico, 2022.

[13] Aplicación del modelo Paniagua-López en la cosecha del limón en Tucumán, UTN-FRT, 2023.

[14] FEDERCITRUS, "La actividad citrícola 2024," 2024. https://www.federcitrus.org/wp-content/uploads/2024/11/Federcitrus-Actividad-Citricola-2024.pdf

[15] Dirección Nacional de Estudios Regionales y de Cadenas de Valor, "Cadena de Valor – Limón," Ministerio de Economía, Argentina, 2025. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/dt_10_-_economias_regionales.pdf

[16] EEAOC, "Informe de la situación actual de la producción limonera campaña 2025," https://www.eeaoc.gob.ar

[17] Carciofi, I., Maspi, N., Guevara Lynch, J., "Cítricos dulces en Argentina," Min. Economía/Secretaría Ind. y Des. Prod., Doc. 39, 2023. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/39_-_citricos_dulces_-_argentina_productiva.pdf

[18] S. Aparicio, M. Alfaro, y V. Laba, "Empleo rural y desafíos sociales en la citricultura tucumana," 2004.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





# *Generation of Synthetic Data to Train Neural Networks in Gaze Direction Tracking applied to the HMD project*

*C.L. Ruiz Notari, M.G. Schulthess*

***Abstract*-- Este artículo presenta el proceso de desarrollo del proyecto "Generación de Datos Sintéticos para el Entrenamiento de Redes Neuronales en el Seguimiento de la Mirada Aplicado al Proyecto HMD", realizado entre mayo y diciembre de 2024. El objetivo principal fue crear un conjunto de datos sintéticos para entrenar redes neuronales capaces de rastrear la mirada de un usuario en entornos de realidad aumentada utilizando un Helmet Mounted Display (HMD). Esta iniciativa forma parte de la línea de investigación "Realidad Aumentada" del Departamento de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería. El informe detalla la selección del motor gráfico y las extensiones, así como la generación de 15.120 imágenes sintéticas.**

***Palabras claves*—HMD, Unreal Engine, Metahuman Creator, Gaze tracking.**

## I. Introducción

En el presente trabajo se lleva a cabo la generación de 15120 imágenes sintéticas cuyo objetivo final es entrenar redes neuronales en el seguimiento de la mirada (*gaze tracking*)[7], confeccionando un set de datos variados y realistas para cumplimentar el objetivo. Los datos generados consisten en fotogramas de una animación extraídos en formato .jpeg de alta definición, los cuales son útiles para el entrenamiento de una inteligencia artificial.

Para la realización del trabajo se precisó la confección del diseño de los modelos paramétricos 3D y la implementación de una animación con los mismos, a fin de cubrir todo el barrido de mirada de una persona humana promedio, con tres ángulos de elevación de mirada diferentes. Se generaron en total 140 fotogramas para cada una de las 108 secuencias de animación exportadas. Esto resultó en 15.120 imágenes realistas y variadas en parámetros.



Fig. 1. Imagen aleatoria del dataset.

## II. DESARROLLO

### *A.* Elección del motor gráfico

Para la selección del motor gráfico a utilizar se tuvo en cuenta el costo económico del programa, el tiempo requerido para construir un diseño paramétrico realista y fiable, y la curva de aprendizaje para la construcción de animaciones. Luego de realizar un análisis exhaustivo de las posibilidades se definió la utilización del programa "Unreal Engine" junto con su extensión "MetaHuman Creator".

Unreal Engine es un motor gráfico desarrollado por Epic Games. Originalmente diseñado para videojuegos, se ha expandido a múltiples industrias como la cinematografía, la arquitectura, y la realidad virtual aumentada, debido a su capacidad para renderizar gráficos en tiempo real de alta calidad. Ofrece un entorno de desarrollo completo que incluye herramientas para modelado 3D, animación, simulación de física, inteligencia artificial, y más. La última versión, Unreal Engine 5, incorpora tecnologías avanzadas como Nanite, para la gestión eficiente de geometría compleja, y Lumen, para iluminación global en tiempo real. "Unreal Engine está creado por desarrolladores, para desarrolladores, con condiciones justas para todos. Porque todo aquel que tenga una idea merece utilizar la herramienta de creación en tiempo real más abierta y avanzada del mundo para darle vida" reza la portada de su página web [1].

Unreal Engine ofrece un motor de renderizado avanzado que posibilita la creación de escenas y efectos visuales de alta calidad, destacándose por su capacidad para representar iluminación global, sombras y partículas con un realismo notable. Además, integra un sólido sistema de física que permite simular movimientos naturales, colisiones y comportamientos de objetos dentro del entorno virtual.

Una de sus características más relevantes es el sistema visual de programación denominado *Blueprints*, que brinda la posibilidad de desarrollar la lógica del proyecto sin necesidad de escribir código, lo que resulta especialmente útil para diseñadores y artistas. El motor también admite animaciones complejas, incluyendo el manejo de esqueletos, cinemáticas y expresiones faciales detalladas, lo que facilita la creación de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



personajes realistas y dinámicos. Finalmente, Unreal Engine cuenta con una comunidad amplia y activa, en la cual es posible acceder a tutoriales, recursos y foros de discusión que favorecen el aprendizaje y la resolución de problemas [2].

Por su parte, la extensión MetaHuman Creator, también desarrollada por Epic Games, es una herramienta web integrada con Unreal Engine que permite crear personajes humanos digitales hiperrealistas. Ofrece un flujo de trabajo sencillo para personalizar características faciales, proporciones corporales, y animaciones, utilizando una base de datos de morfologías y texturas predefinidas [3].
Una de las características más destacadas de MetaHuman Creator es su base de datos de morfologías, texturas y animaciones predefinidas, que se pueden ajustar según las necesidades del proyecto. Esto se logra mediante el uso de una avanzada tecnología de escaneo digital, lo que asegura un alto nivel de realismo en los detalles faciales y la apariencia general de los personajes. Además, la herramienta permite exportar de los modelos generados al motor de Unreal Engine, donde pueden ser animados y utilizados en entornos interactivos, de manera que los desarrolladores pueden optimizar su flujo de trabajo al integrar rápidamente estos personajes en sus proyectos.

Juntos, Unreal Engine y MetaHuman Creator forman una poderosa combinación para proyectos que requieren personajes realistas, como videojuegos, películas, simulaciones y aplicaciones de realidad virtual o aumentada.

### *B.* ***Diseño del modelo***

Para completar el desarrollo del modelo se tomaron en cuenta algunas características de MetaHuman Creator.
Creación rápida y sencilla. Es posible crear de manera intuitiva humanos digitales fotorrealistas, completamente fiables y listos para usar. Se puede utilizar uno de los diseños predefinidos o convertir una malla personalizada en un MetaHuman.
Variedad y realismo. Los presets de MetaHuman se basan en escaneos preexistentes de personas reales, lo que garantiza ajustes realistas. Es posible elegir entre una amplia gama de rasgos faciales, tonos de piel, cabello, ojos, ropa y más.
Económico. Tanto Unreal Engine como MetaHuman son herramientas diseñadas para uso personal y educativo, por lo que para la envergadura del proyecto no significan ninguna inversión económica.

El desarrollo del diseño de los personajes se realiza a través de la web de MetaHuman Creator [3], para posteriormente ser incluidos en Unreal Engine.

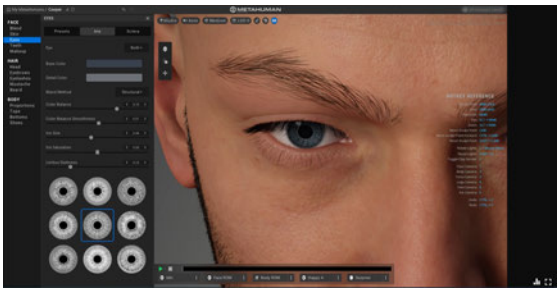


Fig. 3. Entorno de diseño MetaHuman Creator.

Una vez realizado el diseño del personaje, es necesario descargarlo y exportarlo como un activo al programa Unreal Engine. Para esto se utiliza una herramienta de administración y transferencia de activos que facilita la importación de recursos 3D de alta calidad, como texturas y materiales a diferentes motores de juego y programas de diseño 3D, llamada “Quixel Bridge” [4]. Es una aplicación desarrollada por Quixel, una compañía adquirida por Epic Games, que actúa como un intermediario para gestionar y transferir activos digitales de alta calidad a motores gráficos como Unreal Engine. Es una herramienta esencial para acceder y utilizar los activos de la biblioteca *Quixel Megascans*, una colección masiva de modelos 3D, texturas, materiales y superficies escaneados del mundo real, creados con técnicas de fotogrametría.
La biblioteca incluye modelos 3D, materiales PBR (*Physical Based Rendering*), superficies y decorados listos para usar en proyectos de videojuegos, visualización arquitectónica, simulaciones y películas. Quixel Bridge permite gestionar, descargar, visualizar y exportar de manera eficiente activos de Megascans con configuraciones predefinidas para optimizar su uso en Unreal Engine, mejorando el flujo de trabajo y eliminando la necesidad de procesos manuales complicados para integrar modelos o texturas.

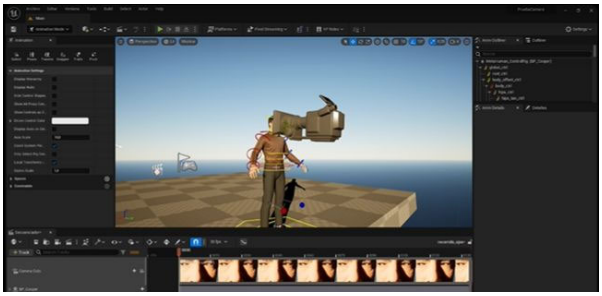


Fig. 4. Entorno de diseño de Unreal Engine.

### *C.* **Parámetros de variabilidad y Etiquetado**

MetaHuman Creator permite modificar una amplia variedad de parámetros en el diseño de los personajes digitales, ofreciendo un control detallado sobre sus características faciales, corporales y expresivas. En cuanto a las características faciales,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





la herramienta posibilita ajustar la estructura general del rostro, incluyendo la forma de la mandíbula, los pómulos y la frente. También permite personalizar el tamaño, la forma y la posición de los ojos, junto con el color del iris y la pupila, incorporando detalles realistas como arrugas o pliegues alrededor de ellos.

Asimismo, es posible definir la forma, grosor y ángulo de las cejas, la morfología y tamaño de la nariz, y la forma de los labios, considerando aspectos como el ancho de la boca o la visibilidad de los dientes. La configuración de las orejas también puede adaptarse, modificando su tamaño, posición y detalles finos como lóbulos y pliegues. Además, el creador permite aplicar distintas texturas de piel con variaciones de color, manchas, arrugas o pecas, así como definir el estilo, longitud y textura del cabello, pudiendo ser lacio, rizado u ondulado.

En cuanto a las *características corporales*, MetaHuman Creator ofrece la posibilidad de ajustar la altura y complexión general del modelo, modificando la musculatura, las proporciones corporales y la estructura física. También se pueden personalizar las extremidades, el ancho de hombros y cintura, y los detalles de las manos y dedos, incluyendo la forma de las uñas y las articulaciones.

Finalmente, el sistema de expresiones y animaciones brinda un control preciso sobre las emociones faciales, como alegría, tristeza, enojo o sorpresa, y sobre los movimientos finos del rostro, como fruncir el ceño o sonreír, lo que permite obtener resultados altamente realistas y expresivos.

Además, permite combinar diseños entre sí para lograr un resultado específico. En el presente proyecto cobran una gran relevancia las características oculares y el rostro del modelo. Se definen los siguientes parámetros a modificar en los modelos, a fin de obtener un dataset completo y variado, y así poder asegurar su utilidad y eficiencia a la hora de entrenar una inteligencia artificial.

*Barrido de mirada (140 fotogramas).* El mismo incluye la variación de la dirección de la mirada en todas las direcciones y tres ángulos de elevación de mirada.
*Género.* Se tomaron personajes de los dos géneros para la confección del dataset. Esta consideración se tomó teniendo en cuenta la notable diferencia entre los tamaños y formas de ojo en personas masculinas y femeninas, y comprendiendo la necesidad de incluir ambos sexos en el estudio.
*Iluminación.* Se tomaron tres iluminaciones diferentes, las mismas ubicadas a la izquierda, centro y derecha del personaje, debido a que es necesario tener en cuenta que la iluminación podría impactar al usuario desde diferentes direcciones.
*Dilatación de pupila.* Se tomaron tres dilataciones de pupila diferentes, teniendo en cuenta que según la iluminación que reciba una persona en su rostro tendrá sus pupilas en diferentes etapas de dilatación.
*Color de ojos.* Se tomaron dos colores de ojo, uno claro y uno oscuro, ya que los colores de los ojos pueden generar diferencias a la hora del entrenamiento.
*Apertura ocular.* Se tomaron tres aperturas oculares distintas teniendo en cuenta la diferencia entre un ojo completamente abierto y un rostro con el ceño fruncido, donde puede ocultarse parte del iris.

Para Etiquetar cada una de las 15.120 imágenes .jpeg extraídas se definió el siguiente patrón:

*Género:* M, F. Identifica el género correspondiente al fotograma actual (Masculino o Femenino).
*Color de ojos:* C, O. Identifica el color de ojos correspondiente al fotograma actual. (Claro u Oscuro).
*Iluminación:* I, C, D. Indica la posición de la luz correspondiente al fotograma actual (Izquierda, Centro o Derecha).
*Apertura ocular:* A, N, E. Indica la apertura del ojo correspondiente al fotograma actual (Amplio, Normal, Entrecerrado).
*Tamaño de pupila:* D, E, C. Indica el tamaño de la pupila correspondiente al fotograma actual. (Dilatada, Estándar, Contraída).
*Barrido de mirada:* Desde el número 0000 al 0139. Identifica el número de fotograma correspondiente al barrido actual.

Por ejemplo, desde el fotograma "{MOINE}.0000" al fotograma "{MOINE}.0139", se referencia el personaje masculino, con color de ojos oscuro, iluminación a su izquierda, apertura ocular normal y pupila tamaño estándar, en todo el barrido de mirada.

### *D.* Diseños Finales y Generación

Para completar el total de los parámetros seleccionados fue necesario el diseño de cuatro modelos 3D, según género y color de ojos. Las demás características se modificaron dentro del entorno de Unreal Engine.



Fig. 4. Diseños finales para la confección del dataset.

Para generar una animación que simule el barrido de la mirada de una persona humana en tres ángulos de elevación distintos, fue necesario incluir los diseños finales en Unreal Engine uno por uno, realizando una secuencia para cada parámetro a modificar. Este proceso implicó el uso de herramientas avanzadas como el control "rig" del MetaHuman, que permite manipular de manera precisa los movimientos oculares. Se configuraron tres posiciones de elevación específicas (0°, 30° y -20°) y se animó un barrido horizontal para cada una de ellas. La animación se diseñó mediante la interpolación de fotogramas clave, asegurando transiciones suaves y naturales. Este enfoque permitió generar movimientos realistas,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



necesarios para la creación de un dataset sintético de alta fidelidad.

### *E.* Validación de Realismo y Consideraciones

Para realizar una validación del realismo y la variedad del dataset se realizó una comparación de las imágenes generadas con personas humanas reales, y se estableció que las imágenes generadas son de alta fidelidad, y pueden utilizarse para realizar entrenamiento de inteligencia artificial en el seguimiento de la mirada. Además, incluyen una amplia gama de parámetros en su modificación, contribuyendo a un set de datos variado y con suficientes diferencias en las imágenes, verificando la variedad del resultado obtenido, simulando una extensa gama de personas humanas reales, las cuales serán potenciales usuarios del proyecto HMD.

En cuanto a la medición de parámetros, fue necesario crear un material de referencia, el cual es un cubo de 1cm de lado. Con ese material es posible realizar comparaciones con el personaje según la medición que se necesite. En el dataset se proveen 6 fotogramas extras que contendrán los modelos masculinos y femeninos, con la referencia puntual para cada uno, una instrucción para realizar mediciones y leer el etiquetado de cada fotograma. Todo esto se puede consultar en una carpeta llamada “Referencias”.

De esta forma, es posible medir con precisión aquello que sea necesario, por ejemplo, la distancia entre pupilas.
Se presentarán 3 ángulos de elevación, con un total de 40 fotogramas por cada uno, dando como resultado una variación de 4° de azimut en fotogramas continuos, ya que el barrido de mirada del ojo humano en azimut es típicamente de 160° (80° desde el centro hacia cada lado).

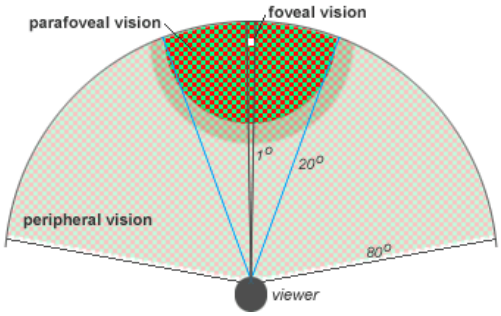



Fig. 5. Campo de visión periférico promedio de una persona humana [5].

Esto da una suma total de 120 Fotogramas. Los 20 restantes son de transición entre un ángulo de elevación y otro.

Por último, existe también la posibilidad de, a futuro, incluir una extensión llamada “Measuring Tool”, la cual ofrece instrumentos de medición precisos para incluir en Unreal Engine. La misma es paga y debe obtenerse en el marketplace de Epic Games, en el apartado de Unreal Engine.

Además, de ser necesario, es posible agregar nuevos parámetros a modificar, por ejemplo, distancia entre pupilas, más ángulos de elevación, más ángulos de iluminación, mover la ubicación de la cámara para realizar el entrenamiento de la red neuronal desde otra ubicación, etcétera. Unreal Engine permite una amplia gama de modificaciones para los modelos, sin embargo, el tiempo y los requerimientos del proyecto fueron acotados, por lo que se seleccionaron los parámetros más importantes para modificar y cumplir los objetivos.

## III. CONCLUSIÓN

Se definió la utilización del programa “Unreal Engine” y su complemento “MetaHuman Creator” para el modelado 3D. Es la herramienta más apropiada y que mejor se adapta al proyecto realizado.
MetaHuman Creator es la herramienta óptima para obtener diseños realistas, fiables, y con facilidad para el manejo de parámetros de una manera rápida y efectiva. Se destaca además que es gratuito, compatible con Unreal Engine y de utilización intuitiva.
Se realizó con éxito el diseño y modificación de cuatro modelos paramétricos en MetaHuman Creator y se investigó sobre todas las características que permite modificar dicha herramienta junto con Unreal Engine. Se seleccionaron los parámetros a modificar en el dataset:
Barrido de mirada (140 fotogramas). Género. Iluminación. Dilatación de pupila. Color de ojos. Apertura ocular.
Se definió el etiquetado de cada fotograma, según un patrón fijo para cada parámetro.
Se realizó el proceso de generación de las imágenes, incluyendo en una primera etapa la realización de la animación del personaje en Unreal Engine y la definición de la cantidad de fotogramas por secuencia. Se exportaron las 108 secuencias de animación necesarias para cubrir todos los parámetros establecidos, cada una de 140 fotogramas, dando como resultado 15.120 fotogramas realistas, fiables y variados, los cuales pueden utilizarse para entrenar una inteligencia artificial en seguimiento de dirección de mirada.

## Referencias

[1] Web Unreal Engine: https://www.unrealengine.com/en-US
[2] Foros Unreal Engine : https://forums.unrealengine.com
[3] Web MetaHuman Creator: https://metahuman.unrealengine.com
[4] Web Quixel Bridge: https://quixel.com/bridge
[5] Campo de visión : https://ocularis.es/vision-binocular/
[6] A Comprehensive Framework for Eye Tracking: Methods, Tools, Applications, and Cross-Platform Evaluation
[7] (PDF) Gaze Tracking: A Survey of Devices, Libraries and Applications
[8] Cross-domain adaptation and geometric data synthesis for near-eye to remote gaze tracking

**Datos de Contacto:**

*Leonel Ruiz Notari. Universidad de la Defensa Nacional. Córdoba Capital.* cruiz939@alumnos.iua.edu.ar

*Matias G. Schulthess. Universidad de la Defensa Nacional. Córdoba Capital.* mschulthess767@alumnos.iua.edu.ar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema Informático para el Peritaje de Comunicaciones Móviles

**Godoy Inalen, Garis Ana (Tutor), Miranda Enrique (Tutor)**
***Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales***
***inaleng25@gmail.com, {agaris, eamiranda}@unsl.edu.ar***

**Abstract**
*El análisis de sábanas de telefonía celular constituye un área de relevancia para las investigaciones penales.*
*Este tipo de evidencia digital ha tomado cada vez más relevancia debido a que toda persona utiliza redes de telefonía celular para la comunicación.*
*El análisis de dicha información presenta ciertos desafíos ya que requiere de un conocimiento específico en la temática y de ciertos datos que proporcionan las empresas prestatarias. En este contexto, en el estado del arte no se observan opciones exclusivamente dedicadas a este tipo de pericias. En muchos casos, los analistas deben realizar dicha tareas empleando procesos manuales con mínima asistencia tecnológica.*
*En este trabajo se presenta una herramienta open source con el objetivo de facilitar las tareas a los analistas. Entre otras cosas, el sistema permite cargar sábanas de telefonía en lotes, visualizar los registros de comunicaciones y las áreas de cobertura de las antenas que gestionan dichas comunicaciones, representadas en un mapa satelital. Asimismo, se incorpora la posibilidad de mantener una base de datos de antenas que se retroalimenta con la información de los registros cargados de datos de emplazamiento y determinadas herramientas interactivas que facilitan un análisis geoespacial más intuitivo.*
*En síntesis, esta herramienta constituye un aporte significativo a la labor de análisis, ofreciendo un soporte tecnológico confiable y escalable para analizar evidencia digital en procesos judiciales.*

**Palabras Clave**
Evidencia digital, sábana de telefonía, GIS, análisis geoespacial, proceso judicial, open source.

## Introducción

La masividad del uso de telefonía móvil en los últimos años ha convertido a los servicios de telefonía celular en un recurso cotidiano, lo que implica que gran parte de la actividad de una persona quede registrada. Toda actividad relacionada con las comunicaciones es almacenada por las empresas de telecomunicaciones, en particular, las sábanas de telefonía móvil [1]. Esta información constituye una fuente clave de evidencia digital en investigaciones judiciales [2]. Sin embargo, el análisis de estos registros plantean una problemática vigente en el ámbito judicial, debido al gran volumen y complejidad de los datos que contienen.

Puntualmente, dentro de los aspectos que dificultan su análisis se destacan los siguientes: i) cada empresa de telefonía define su propio formato, lo que genera ciertos problemas de falta de estandarización; ii) presencia de datos incompletos, inconsistentes o incorrectos, particularmente en lo que respecta a la información de antenas; iii) no existe una base de datos nacional de infraestructura o ente que unifique criterios; entre otras. En este contexto, con el objeto de llevar a cabo pericias sobre este tipo de comunicaciones, muchos profesionales del área recurren desde hace años a soluciones manuales o poco eficientes para asistir en la representación geoespacial de los datos. Esto resulta en un gran consumo de tiempo y recursos, aumentando el riesgo de errores involuntarios al transcribir o efectuar cálculos. Estas dificultades a las que se enfrentan los peritos no solo retrasan las investigaciones, sino que pueden derivar en análisis imprecisos, incompletos o incorrectos que, a su vez, lleven a conclusiones equivocadas.

Existen softwares especializados para el análisis de sábanas telefónicas, algunos con funcionalidades de análisis geoespacial, pero resultan costosos y de difícil acceso para organismos judiciales locales. También hay aplicaciones que permiten analizar sábanas, pero carecen de funciones de representación cartográfica y análisis geoespacial. En la práctica, muchos analistas recurren a soluciones gratuitas,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



como Google Earth Pro [3], que si bien permite visualizar áreas de cobertura de antenas en un mapa, no está diseñado para análisis avanzado ni para el manejo eficiente de grandes volúmenes de datos.

En este contexto, resulta de especial interés el desarrollo de herramientas informáticas que brinden soporte tecnológico a la labor de los analistas y que las mismas sean accesibles para quienes las van a emplear a diario con el objetivo de resolver causas judiciales sensibles y que afectan a toda la sociedad. Frente a esta problemática, este trabajo presenta una herramienta pensada para estandarizar y organizar la información contenida en las sabanas de telefonía provistas por distintas empresas de telecomunicaciones, automatizar tareas críticas reduciendo errores humanos y facilitar un análisis más ágil, preciso y confiable.

La herramienta contribuye al peritaje informático en organismos judiciales, tiene aplicación directa en investigaciones que involucren comunicaciones móviles, apoyando la labor de fiscales, jueces, abogados y peritos en la interpretación de este tipo de evidencia digital.

La propuesta surgió a partir de una Práctica Profesional Supervisada realizada en un departamento de investigación del poder judicial de una provincia argentina. En este marco, fueron identificadas las principales dificultades y limitaciones que enfrentan los profesionales al trabajar con este tipo de evidencia.

Este artículo se organiza en las siguientes secciones: el marco teórico; los objetivos del sistema; la arquitectura propuesta; y, finalmente, un ejemplo de uso del sistema.

## 1. Marco teórico

**Sabana de telefonía**
Las sábanas de telefonía móvil [4] constituyen una evidencia digital clave en investigaciones judiciales, son emitidas por empresas de telecomunicaciones en respuesta a solicitudes de la justicia, y registran para un número telefónico, y en un periodo de tiempo, todas las comunicaciones (eventos de: llamadas, SMS, MMS, conexión de datos, etc) realizadas.
Si bien los formatos varían entre compañías, suelen incluir la siguiente información:

- Titular de la línea.
- Evento registrado.
- Datos de la antena que atendió y dio curso al evento registrado.

Estos datos permiten conocer, entre otros, el radio de cobertura de antenas y la ubicación de las torres de telefonía (latitud, longitud, provincia, localidad, dirección, etc). Su análisis posibilita inferir información de geolocalización donde posiblemente se haya movido una persona mientras tenía actividad telefónica.

**Sistema de Información Geográfica**
Una aplicación GIS (Sistema de Información Geográfica) posibilita manipular datos espaciales mediante el uso de una computadora. Permite visualizar mapas digitales, crear nueva información geográfica y llevar a cabo análisis espaciales [5].

## 2. Objetivos del sistema

El sistema tiene como objetivo general asistir en el peritaje informático de sábanas de telefonía en organismos judiciales y/o instituciones relacionadas con fuerzas de la ley. Los objetivos particulares son:

- Estandarizar las sábanas telefónicas de las distintas empresas.
- Automatizar la carga de sábanas telefónicas minimizando los riesgos de cometer errores humanos que conllevan una carga manual.
- Crear y gestionar una base de datos para almacenar emplazamientos de antenas que se alimente de las sábanas cargadas, incorporando nuevas antenas y completando los datos faltantes de las ya registradas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Brindar al perito informático una herramienta de software que le permita analizar la evidencia digital provista por las sábanas, entre otras funcionalidades:
  - visualizar eventos que conforman el registro de comunicaciones,
  - visualizar antenas y emplazamientos en un mapa satelital,
  - añadir acotaciones a los eventos,
  - marcar gráficamente en el mapa elementos de interés para la investigación,
  - identificar llamadas en común entre las sábanas de las personas investigadas,
  - medir distancias entre puntos y áreas de una figura del mapa satelital, y
  - realizar búsquedas para facilitar el análisis de eventos.

## 3. Arquitectura

El sistema fue desarrollado utilizando un conjunto de tecnologías organizadas en tres componentes principales: frontend, encargado de la interfaz gráfica de usuario (GUI); backend, responsable de la lógica de negocio y procesamiento de datos; y un sistema de base de datos espacial, destinado al almacenamiento y gestión de la información relacionada con datos de antenas (ver Figura 1). En esta sección se muestra cómo estas tres partes se integran para cargar una sábana.

La parte del sistema con la que el usuario interactúa es el Frontend (GUI), desarrollado en PyQt [6]. A través de esta interfaz, el analista dispone de la funcionalidad de carga en lotes de las sábanas de telefonía, seleccionando uno o más archivos que las conforman.

El Backend es lo que hace que todo funcione. Trabaja "detrás de escena" procesando datos y ejecutando las tareas que se le solicitan, desarrollado en lenguaje Python [7]. Cada vez que se solicita una carga en lotes, el sistema inicia un proceso cuyo objetivo es interpretar y organizar la información contenida en los archivos para generar la implementación del modelo de datos de la sábana.

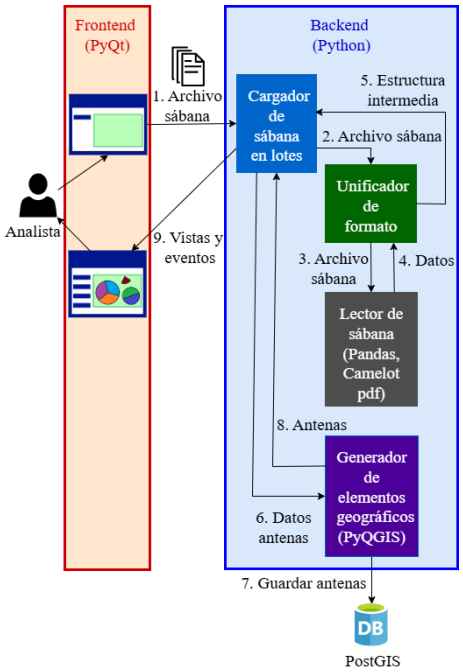



Figura 1 - Arquitectura del sistema.

En una primera etapa, un componente se encarga de la unificación del formato de los tres bloques de información principales: titularidad, eventos y antenas. Para eso recurre a un lector de sábanas, que emplea Pandas [8] para procesar archivos Excel o Camelot PDF [9] para extraer datos de documentos en formato PDF. Con la información obtenida, y según la empresa de telefonía, el componente unificador aplica conversiones de tipo, genera atributos derivados y homogeneiza los datos de cada bloque, organizándolos en una estructura de datos intermedia para facilitar su manejo.

Esta estructura es gestionada por el cargador de sabanas en lotes, que transfiere los datos de antenas al generador de elementos geográficos. Este último emplea PyQGIS [10] para crear áreas sectoriales de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cobertura que representan el alcance de cada antena y guarda dichos elementos geográficos junto con la información de antenas en una base de datos espacial implementada en PostgreSQL [11] con la extensión PostGIS [12]. De esta forma, las antenas quedan disponibles para su consulta y representación cartográfica, y al mismo tiempo son devueltas al cargador de sábanas para integrarlas al modelo general.

A partir de esta estructura intermedia, se construye el modelo de datos de la sábana, implementado en Python mediante clases que representan a cada entidad y sus relaciones. Esta implementación permite representar la sábana de manera estructurada y trabajar con sus elementos de forma ordenada. Finalmente, el modelo se envía al Frontend, donde el analista podrá visualizar la información, explorarla y usarla en el análisis pericial.

## 4. Ejemplo de uso

Esta sección ilustra el funcionamiento del Sistema Informático para el Peritaje de Comunicaciones Móviles.

Al acceder a la pantalla principal (Figura 2), en la parte superior se dispone una barra de herramientas. Debajo a la izquierda, se presentan los elementos visualizados en el mapa y, debajo de este, el listado de sábanas de telefonía disponibles. A la derecha se encuentra un mapa satelital, inicialmente sin elementos graficados.

La interfaz permite al analista añadir una sábana de manera manual o en lotes. Según la empresa de telefonía seleccionada, el sistema solicita los archivos correspondientes. En el ejemplo ilustrativo se emplea la carga en lotes, incorporando los tres bloques de información de una sábana de Telecom Argentina S.A. (Personal) (Figura 3).

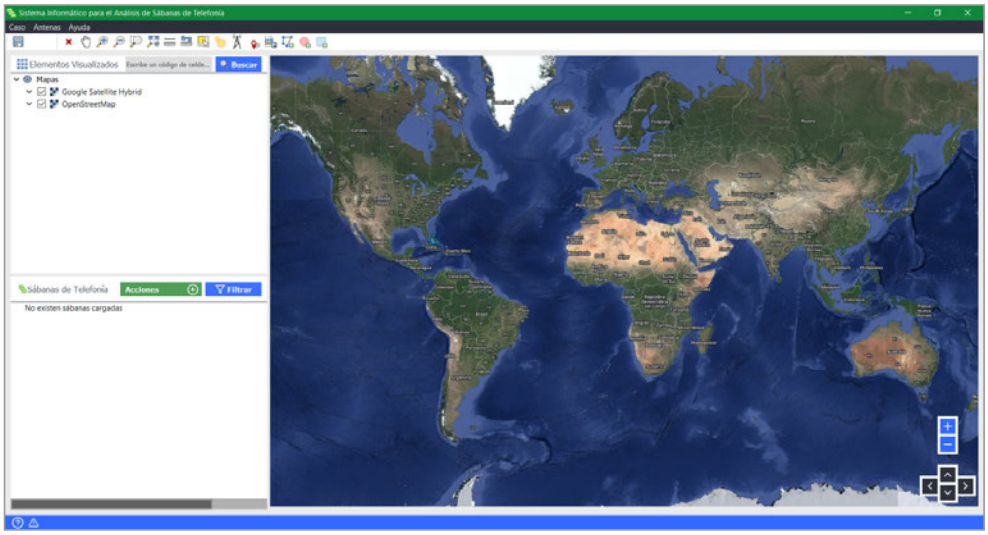



Figura 2 - Pantalla principal.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



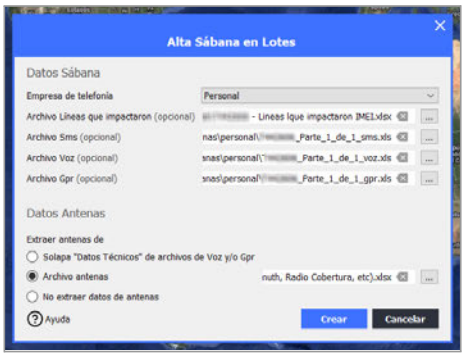



Figura 3 - Cargar sábana de empresa Personal.

Consecuentemente, se agrega la sábana al listado en el panel lateral y las antenas asociadas a los eventos al conjunto de elementos visualizados en el mapa (Figura 4). En la Figura 5 se visualiza el contenido de una sábana al desplegar el elemento señalado con un círculo rojo en la Figura 4. La información se divide en datos de titularidad de la línea y eventos.

Para las sábanas ya cargadas, es posible añadir eventos manualmente mediante la opción señalada en la Figura 5 con un círculo rojo.

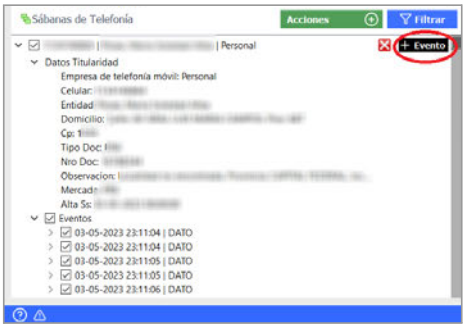



Figura 5 - Detalle Sábana.

El sistema solicita datos referentes al evento y, en caso de ser de tipo llamada o datos, requiere asociar una antena (Figura 6). Esta puede buscarse por código parcial o mediante búsqueda avanzada. En el ejemplo, se da de alta un evento de tipo "llamada" y, utilizando el fragmento de código "O07HT" se busca la antena, que luego se selecciona de la lista de resultados. En la Figura 7 se observa el nuevo evento creado en la sábana, resaltado en verde, y la antena asociada, destacada en azul dentro del listado de elementos del mapa. Al hacer doble clic sobre él, se realiza un

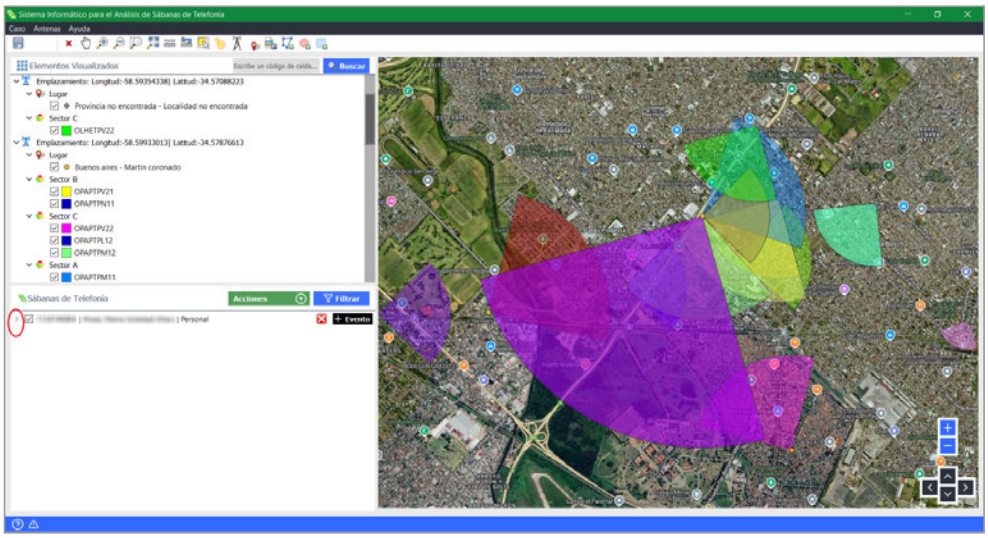


Figura 4 - Sábana Personal cargada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



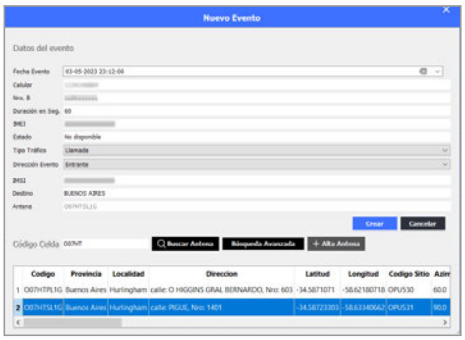



Figura 6 - Nuevo evento.

acercamiento en el mapa hacia la antena que efectuó la comunicación. Adicionalmente, mediante clic derecho en un punto del mapa, es posible obtener las coordenadas y copiarlas al portapapeles (Figura 8).

Se puede agregar una nota a los eventos mediante la opción señalada en la Figura 7 con un círculo rojo. Al crearla, es posible añadir un texto y asignarle un color para su identificación (en este caso, amarillo). Posteriormente, la nota puede visualizarse al posicionarse sobre el icono de nota de color amarillo que aparece a la derecha del evento (Figura 9).

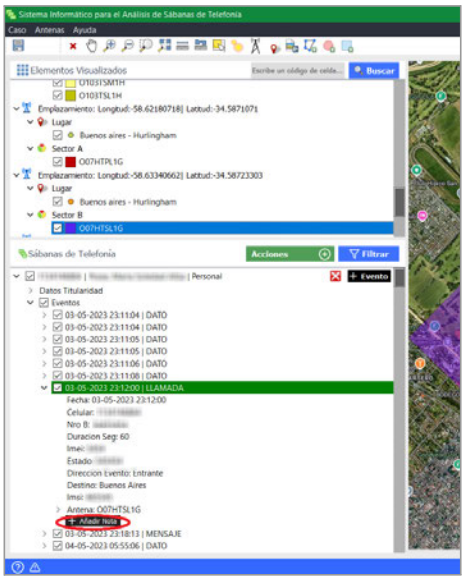



Figura 7 - Nuevo evento añadido.



Figura 8 - Alcance de antena.




Figura 9 - Añadir nota.

Como se mencionó al inicio de la sección, en la parte superior de la interfaz se ubica una barra de herramientas que permite, entre otras funciones, delimitar áreas de interés. En la Figura 10 se muestra el uso de la herramienta polígono para dibujar una zona, personalizar su estilo y agregar una descripción.

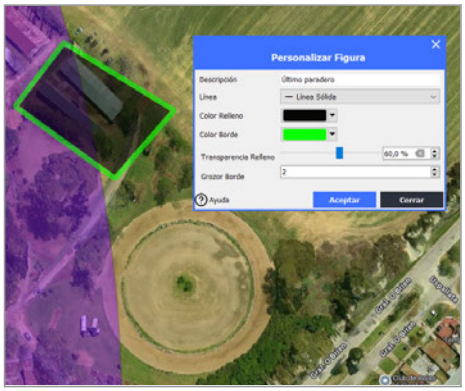



Figura 10 - Dibujar polígono.

La funcionalidad de medir distancias de la barra de herramientas permite trazar una línea en el mapa y obtener su longitud en metros o kilómetros. En la Figura 11, dicha línea se muestra en color rojo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



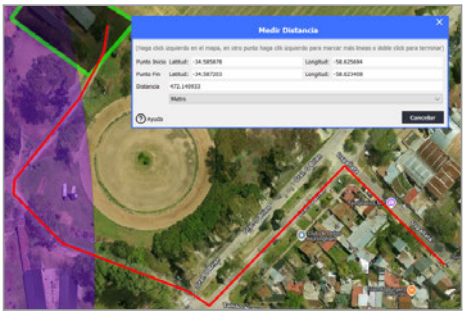



Figura 11 - Medir distancia.

Otra funcionalidad en la barra de herramientas es medir áreas. Se puede trazar un polígono en el mapa y calcular su área en metros cuadrados y kilómetros cuadrados. En la Figura 12, dicho polígono se muestra en color rojo.

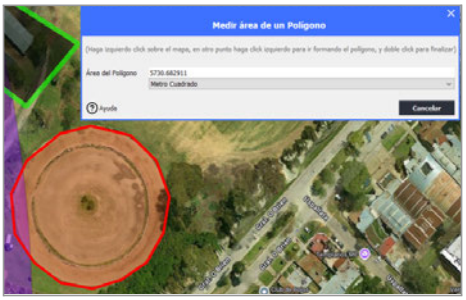



Figura 12 - Medir área.

Por último, la funcionalidad de crear un lugar de interés permite seleccionar un punto en el mapa, añadir una descripción y un color. El lugar queda marcado mediante un icono de ubicación de color rojo en este caso (Figura 13).




Figura 13 - Añadir lugar de interés.

Es importante destacar que, al cargar una sábana, sus antenas son almacenadas en una base de datos geoespacial local, gestionada por cada dependencia que instala la herramienta. La información recopilada se limita exclusivamente al emplazamiento de antenas, sin incluir comunicaciones ni números de teléfono.

Los datos relacionados con el estado del sistema y sábanas cargadas se registran en un archivo JSON local, que conserva los detalles del caso (eventos, notas, lugares y áreas de interés, entre otros). Esto a los fines de brindar al analista la posibilidad de guardar/cargar el estado de avance de cada caso analizado.

## 5. Trabajos Relacionados

A continuación, se describen dos herramientas relevantes en este tipo de análisis.

Smul [13] permite analizar sábanas de telefonía y entidades vinculadas. Admite carga manual de antenas y carga en lotes de sábanas, aunque requiere una perfilación manual previa. Permite representar antenas y otros datos geográficos en mapas y compartirlas con distintos usuarios. Dicho sistema es utilizado desde 2014 por el Poder Judicial de la provincia de Córdoba. No contempla carga en lotes de antenas, ni ofrece una vista previa interactiva como el sistema propuesto.

IBM i2 Analyst's Notebook [14] permite analizar información usando gráficos. Estas visualizaciones facilitan la identificación de redes, patrones y relaciones dentro de grandes volúmenes de datos. Admite carga de sábanas y antenas manual, y en lotes pero requiere preprocesamiento, y la representación geográfica depende de un conector Esri adicional que solo muestra la ubicación puntual de torres de telefonía. En contraste, el sistema propuesto admite carga de sábanas y antenas manual o en lotes, y genera su representación geográfica sin licencias adicionales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 6. Conclusión y Trabajos Futuros

Se ha desarrollado un sistema de análisis de sábanas de telefonía que integra funcionalidades de carga, visualización y análisis en un entorno geográfico, ofreciendo una visión más completa de la información, a diferencia de muchas herramientas existentes que solo proporcionan funciones parciales. Además, la flexibilidad para trabajar con distintos formatos de sábanas y la automatización de la carga de datos representan un avance frente a los métodos que requieren perfilación manual, reduciendo la posibilidad de errores humanos y optimizando el tiempo de análisis.

Gracias a estas características, este enfoque aporta mejoras significativas frente a herramientas comerciales y se destaca por ser un proyecto de código abierto. Esto no solo hace el sistema transparente frente a los procesos judiciales, sino que también facilita su adaptación y escalabilidad en los laboratorios periciales y/o dependencias judiciales que lo quieran emplear.

Entre las líneas de trabajo futuras se contempla incorporar nuevas formas de visualización de eventos (vistas de árbol o tabla) para facilitar la comprensión de grandes volúmenes de datos, así como desarrollar un módulo de reportes personalizados que permita exportar informes automáticos con notas y lugares de interés identificados durante el análisis.

**Referencias**

[1] M. Kumar, M. Hanumanthappa, and T. V. Suresh Kumar, "Crime Investigation and Criminal Network Analysis Using Archive Call Detail Records", in 2016 IEEE Eighth International Conference on Advanced Computing (ICoAC), pp. 47-48, 2016. [online]. Available:

https://core.ac.uk/reader/158348310

[2] J. Aráoz Fleming, B. Parra de Gallo, and B. Luz Clara, "La importancia de las pericias informáticas en el ámbito del Derecho" in Fodertics 7.0: estudios sobre derecho digital, 2019, pp. 217-225. [online]. Available:

https://revistas.ucasal.edu.ar/index.php/RO/article/view/312/285

[3] Google LLC (2025), Google Earth Pro [online]. Available: https://www.google.com/earth/about/versions/#earth-pro

[4] M. Tart, I. Brodie, N. Gleed, and J. Matthews, "Historic cell site analysis – Overview of principles and survey methodologies", Digital Investigation, vol. 8, no. 3-4, 2012, pp. 185-193.

[5] QGIS Development Team, "QGIS Desktop 3.28 User Guide". [Online]. Available: https://docs.qgis.org/3.28/pdf/es/QGIS-3.28-DesktopUserGuide-es.pdf

[6] Riverbank Computing Limited, "PyQt5 Reference Guide", Riverbank Computing. [Online]. Available: https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/

[7] Python Software Foundation, "Python".[Online]. Available: https://www.python.org/

[8] The pandas development team, "Pandas".[Online]. Available: https://pandas.pydata.org/

[9] Vinayak Mehta, "Camelot: PDF Table Extraction for Humans".[Online]. Available: https://camelot-py.readthedocs.io/en/master/

[10] QGIS Project, "QGIS 3.28 – PyQGIS Developer Cookbook" [Online]. Available: https://docs.qgis.org/3.28/pdf/es/QGIS-3.28-PyQGISDeveloperCookbook-es.pdf

[11] PostgreSQL Global Development Group, "PostgreSQL". [Online]. Available: https://www.postgresql.org/

[12] PostGIS Project, "PostGIS"[Online]. Available: https://postgis.net/

[13] Smul, "Entrecruzamiento de Datos para investigaciones eficientes", 2013. [Manual de usuario]

[14] Ibm, "Manual IBM i2 Analist's Notebook 2016", 2016. [Online]. Available: https://uiaf.gov.co/sites/default/files/inline-images/Manual%20I2%20ANB.pdf

**Datos de Contacto:**

*Godoy, Inalen. Universidad Nacional de San Luis. 5700. inaleng25@gmail.com.*
*Garis, Ana Gabriela (Tutor). Universidad Nacional de San Luis. 5700. agaris@unsl.edu.ar.*
*Miranda, Enrique Alfredo (Tutor). Universidad Nacional de San Luis. 5700. eamiranda@unsl.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Corrección de Ejercicios de Unión con Flechas a través de Machine Learning

**Liendo, Juan Esteban**
***Laboratorio de Investigación de Software***
***Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información***
***Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional.***

**Abstract**
*Este trabajo presenta una prueba de concepto para la corrección automática de ejercicios de unión con flechas (UCF) manuscritos, a partir de fotografías tomadas con teléfonos móviles. El objetivo es reconocer las líneas dibujadas por los estudiantes y asociar sus extremos con los textos correspondientes, sin necesidad de plantillas ni escáneres especializados. La solución combina Optical Character Recognition (OCR), detección de líneas con visión por computadora y un clasificador Random Forest, entrenado con características geométricas y de contexto. Aunque los resultados actuales muestran una precisión del 27%, el sistema permite identificar los principales desafíos del problema y plantea una base para futuros desarrollos en contextos educativos con recursos limitados. Dado el tamaño reducido del dataset (30 instancias), los resultados tienen carácter exploratorio.*

**Palabras Clave**
Random Forest, Machine Learning, Corrección Mecanizada, Visión por Computadora.

## 1. Introducción

### Problema a resolver

Corregir un examen escrito a partir de un escaneo o fotografía comprende varios problemas, que serán más o menos desafiantes según la complejidad de los ejercicios incluidos en la hoja que recibe cada estudiante. El objetivo de este trabajo es presentar una forma de corregir ejercicios de unión con flechas (UCF) de forma automática con algoritmos de Machine Learning sencillos.

Los ejercicios UCF son métodos efectivos para evaluar relaciones entre conceptos. Un UCF consiste de dos columnas enfrentadas, cada una con conceptos relacionados, donde se tiene que unir cada concepto con una línea dibujada a mano, usualmente sin levantar el lápiz o lapicera.

Las máquinas de corrección de exámenes (corrección mecanizada) son caras [1]. Sin embargo, muchas personas tienen acceso a teléfonos móviles que les permiten sacar fotos y videos[1], de forma que proveer sistemas para la corrección basados en fotografías puede ser el puntapié inicial para hacer que la corrección automática se expanda.

Los exámenes no están limitados a utilizar ejercicios en un único idioma ya que, a la hora de ser evaluado, puede solicitarse al alumno la traducción de textos. Es por esto que se buscará que esta solución tenga soporte para múltiples idiomas.

### Estado del Arte de la Corrección Automática

La corrección automatizada se aplica principalmente a ejercicios de opción múltiple, en los que cada pregunta va acompañada de un conjunto de posibles respuestas que deben marcarse en una hoja de burbujas[2] [3]. Las marcas son reconocibles a través de un OMR. Hay alternativas a las bubble sheets, como sistemas donde se solicita dibujar una cruz en un casillero [2].

La captura de texto de un idioma que use caracteres alfanuméricos (u otros caracteres, como el japonés[4]) se puede resolver a través de redes neuronales

[1] BankMyCell, "How many phones are in the world," Blog de BankMyCell. [En línea]. Disponible en: www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world.
[2] Gravic, Inc., Remark Test Grading, 2024. [En línea]. Disponible en: https://remarksoftware.com/solutions/test-grading/.
[3] iDoceo Studios, GradeScanner, 2024. [En línea]. Disponible en: www.gradescanner.net.
[4] es.wikipedia.org/wiki/Hiragana

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



convolucionales, YOLOv8 u OCR específicos [3] [4][5].
Las consignas a desarrollar, que implican una pregunta y un desarrollo libre basado en texto, pueden ser corregidas automáticamente a partir de la captura del texto y la implementación de Large Language Models (LLM) para procesar el lenguaje natural [6][7] o grafos dirigidos [8].
Existen métodos basados en Deep Learning que permiten reconocer objetos y flechas de un diagrama de flujo impresos [9] o dibujados en tablets [10][11].
Hay ejercicios similares a los UCF, donde se imprime un texto y se solicita al alumno que subraye la opción correcta, factibles de ser corregidos automáticamente. Las herramientas que permiten corregir ejercicios de UCF son muy limitadas [12], sin embargo es un ejercicio que sigue siendo utilizado para relacionar conceptos, por lo que sería útil aportar una solución al problema.

## 2. Desarrollo

### Razonamiento inicial

Podemos dividir el problema de corregir UCF en partes:
**Encontrar símbolos:** Reconocer los caracteres o palabras (a partir de ahora, *símbolos*) a unir que tradicionalmente están dispuestos en dos columnas de proporciones similares[5]. Desde ahora, *problema A*.
**Detección de líneas**: Obtener los puntos de inicio y fin de cada línea trazada, en conjunto con los trazos que la conforman, lo que corresponde a partir de ahora, al *problema B*.
**Unión de símbolos-líneas**: Unir los puntos de inicio y fin de cada línea con los caracteres correspondientes. De ahora en más, *problema C*.
Se definirá como *módulos* (A, B, C) a los componentes de software que se enfoquen en resolver cada problema.

### Desafíos del problema A

En el problema A se identificaron dos desafíos principales. El primer desafío consiste en procesar imágenes que presentan una calidad deficiente, ya sea por baja resolución, iluminación inadecuada o presencia de ruido. Esta limitación dificulta la extracción precisa de los datos, ya que los algoritmos de reconocimiento encuentran mayores obstáculos para diferenciar patrones o caracteres. El segundo desafío surge cuando las fotografías son tomadas desde ángulos inadecuados, lo que provoca distorsiones geométricas en la imagen. Dichas transformaciones pueden alterar la proporción y forma de los elementos, afectando la interpretación correcta de la información contenida en la misma.

### Solución propuesta para el problema A

Los sistemas OCR presentan un desempeño óptimo con imágenes correctamente enfocadas y limpias; por esta razón, para maximizar la precisión y minimizar la pérdida de símbolos, se requiere que el usuario ejecute inicialmente el OCR sobre el ejercicio UCF sin resolver, con el objetivo de obtener la mayor cantidad posible de posiciones de símbolos. Si no se detectan todos los símbolos, el usuario podrá señalar el símbolo con su respectiva *bounding box*. Para abordar el desafío de las transformaciones espaciales, se establecen correspondencias entre los símbolos detectados en el ejercicio sin resolver y aquellos presentes en el ejercicio resuelto. A partir de un mínimo de tres coincidencias, se estima una transformación afín mediante una función[6], la cual contempla traslaciones, rotaciones y escalados. Esta transformación permite alinear de manera precisa los símbolos entre ambas imágenes y, consecuentemente, inferir las posiciones de aquellos símbolos

[5] Ver Anexo II

[6] OpenCV Documentation. Camera Calibration and 3D Reconstruction - estimateAffine2D. Disponible en: https://docs.opencv.org/4.x/d9/d0c/group__calib3d.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que no fueron detectados directamente en el OCR del ejercicio resuelto.

**Desafíos del problema B**

En el problema B se identificaron varios desafíos. El primero es que las líneas pueden cruzarse entre sí, lo cual complica su correcta interpretación. El segundo desafío está relacionado con la variabilidad en el grosor de las líneas, que no siempre es uniforme. Un tercer desafío surge de la presencia de otros elementos ajenos, como las líneas de los renglones en cuadernos a rayas o incluso manchas, que podrían ser detectados como líneas falsas. Además, algunos trazos presentan diferencias en su intensidad: pueden ser más fuertes o más débiles e incluso desaparecer momentáneamente, posiblemente por desperfectos en la pluma utilizada. Finalmente, se encontró que algunas de las líneas detectadas podrían haber sido previamente tachadas o borradas, lo que añade un nivel adicional de complejidad al proceso.

**Solución propuesta para el problema B**

La imagen original se convierte inicialmente a escala de grises y posteriormente a binaria (blanco y negro). Se evitó la utilización del detector de bordes de Canny[7], dado que tiende a duplicar los contornos al resaltar simultáneamente los bordes superior e inferior de una línea. Las líneas dibujadas a mano pueden ser detectadas mediante la Transformada de Hough, siendo la variante más adecuada para este caso la Transformada Probabilística de Hough [13], la cual cuenta con una implementación en OpenCV[8]. Cada línea puede estar compuesta por uno o varios trazos, los cuales deben ser fusionados.

[7] OpenCV, Canny Edge Detection, OpenCV 4.x, [En línea]. Disponible en: https://docs.opencv.org/4.x/da/d22/tutorial_py_canny.html.

[8] OpenCV, Tutorial sobre la Transformada de Hough para líneas, 2018. [En línea]. Disponible en: https://docs.opencv.org/3.4/d9/db0/tutorial_hough_lines.html.

Mientras existan trazos susceptibles de unión, se aplica un algoritmo Random Forest para determinar si los trazos deben integrarse, con una complejidad temporal de $O(n^2)$, siendo $n$ el número de trazos detectados. Este clasificador se eligió por su robustez con conjuntos de datos reducidos [14] y su bajo costo computacional en comparación con modelos más complejos como redes neuronales convolucionales [15], que requieren volúmenes de datos significativamente mayores para generalizar adecuadamente. La eficiencia del proceso puede incrementarse evitando comparaciones entre trazos que se encuentran espacialmente distantes. Una vez identificadas las líneas que pueden ser unidas, se procede a agruparlas, determinando su punto de inicio y fin.

**Desafíos del problema C**

Podría haber más de una línea apuntando a los mismos símbolos.

**Solución propuesta para el problema C**

Por cada uno de los símbolos, hasta que no haya más puntos por unir, buscar los puntos iniciales y/o finales de las líneas más cercanas, y unirlo si se encuentra a una distancia menor que se ingresa como parámetro.

**Generación del dataset y entrenamiento**

En primera instancia, se diseñó un ejercicio UCF orientado a la asociación de los números (1, 2, 3, …, 10) con sus correspondientes representaciones en hiragana (japonés). A partir de este material se generaron 30 instancias, resueltas con respuestas aleatorias y utilizando distintos instrumentos de escritura para introducir variabilidad en los trazos: lapicera negra de trazo grueso, lapicera azul de trazo fino, lapicera roja de trazo grueso, lápiz negro, lápiz marrón y marcador.

De este conjunto, 6 ejercicios fueron destinados al entrenamiento del clasificador Random Forest y al desarrollo del módulo de reconocimiento de símbolos, mientras

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que los 24 restantes se emplearon en la fase de evaluación.

Para la construcción del algoritmo clasificador se extrajeron y analizaron 31.295 pares de trazos de los 6 ejercicios. Cada par fue caracterizado en función de diversos atributos: puntos de inicio y fin, diferencia angular, mínima distancia entre los extremos, coincidencia de puntos extremos, extensión relativa, producto punto, densidad promedio de la zona y la decisión sobre si los trazos debían o no ser unidos.[9]

**Evaluación**

La evaluación del sistema se realiza en conjunto y por separado. Para este trabajo, se define efectividad como la tasa de aciertos posibles por el total. Se calculará de forma distinta en cada módulo, ya que los resultados obtenidos muestran que los errores producidos por el módulo A son más significativos para la corrección final que los que se producen por los módulos B y C.

**Efectividad del módulo A**

En el módulo A, la corrección sólo puede ser correcta (efectiva) o incorrecta (no efectiva). Será correcta cuando todos los ítems hayan sido detectados y señalados en la imagen. Será incorrecta si tiene, al menos, un error.

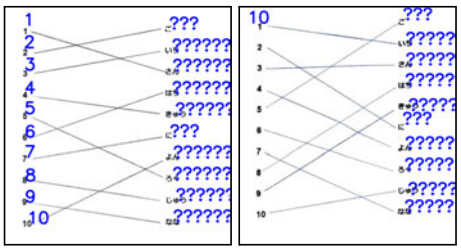


Figura 1. Comparación del reconocimiento de texto en el módulo A: en la imagen izquierda, todos los símbolos fueron detectados correctamente; en la imagen derecha, sólo la segunda columna fue reconocida. Los símbolos formados por caracteres japoneses figuran como '???' porque no son soportados por la librería que escribe texto en imágenes.

**Efectividad de los módulos B y C**

Cada imagen tiene 10 líneas. La efectividad de cada corrección será la cantidad de *uniones ciertas*[10] detectadas (ejemplo, ['6', 'ろく']), dividido la cantidad de uniones ciertas totales a ser detectadas en la imagen.

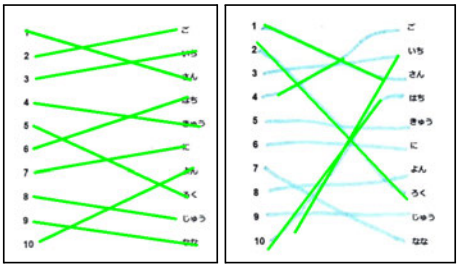


Figura 2. Comparación de la detección de uniones en el módulo B: en la imagen izquierda, todas las flechas fueron reconocidas correctamente; en la imagen derecha, solo dos de las diez flechas fueron detectadas.

**Prueba del sistema**

Se analizaron 24 ejercicios UCF en imágenes de dimensiones varias. La efectividad del sistema ronda el 25%, con ambos módulos cercanos al 50% de error. Tuvo menor efectividad en los ejercicios con líneas curvas y en aquellos con imágenes mal enfocadas. Dado que el dataset total comprende únicamente 30 instancias, los resultados deben interpretarse como exploratorios y no son aún generalizables.

Tabla 1. Resultados de aciertos, máximos aciertos posibles y efectividad por módulo

| Módulo | Aciertos | Máximo posible | Efectividad |
|---|---|---|---|
| A | 12 | 24 | 50% |
| B y C cuando A=1 | 63 | 120 | 52% |
| Total | *67* | 240 | 27% |

[9] Ver Anexo II.

[10] Ver Anexo II.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 3. Trabajos Relacionados

Jocovic, Nikolic y Bacanin señalan que los sistemas existentes para la evaluación de ejercicios UCF son muy limitados. Por este motivo, su enfoque se centra en la corrección de ejercicios de "subrayar la opción correcta", logrando una efectividad elevada [12].

Rajan y Hammond extraen los trazos utilizando morphological thinning (similar a la erosión de OpenCV) junto con un algoritmo propio, y posteriormente determinan si deben unirse o no en función de características geométricas, como la distancia entre los puntos de inicio y fin de cada trazo [11].

Wang, Li, Sun, Chen, Liu, Wu, Lu, Song y Yadkori, así como Darlow, Regan, Risi, Seely y Jones, destacan la resolución de laberintos mediante arquitecturas basadas en redes neuronales recurrentes[11] [16][17]. Si bien su dominio del problema está centrado alrededor de los píxeles y convoluciones, y no de los trazos como en la solución propuesta en este trabajo, el problema B podría ser solucionable a partir de redes neuronales recurrentes que recorran imágenes por trazos de un pixel de ancho gracias al "morphological thinning" mencionado en el párrafo anterior.

## 4. Conclusión y Trabajos Futuros

Este trabajo explora una solución accesible para corregir automáticamente ejercicios UCF manuscritos a partir de fotografías. Aunque la precisión actual del sistema es baja, los resultados permiten identificar los principales desafíos técnicos. Con mejores modelos de clasificación, procesamiento de imagen y expansión del dataset, el sistema puede evolucionar hacia una herramienta útil en contextos educativos con recursos limitados.

Para expandir o mejorar este trabajo se proponen los siguientes pasos:

### Expandir el dataset

Aumentar la cantidad y diversidad de ejemplos etiquetados manualmente, incluyendo más estilos de escritura, trazos y niveles de ruido en las imágenes.

### Implementar otros modelos de Machine Learning

Como se mencionó anteriormente, la detección de líneas podría verse afectada positivamente si se reemplaza el módulo B por otro que implemente redes neuronales recurrentes. Se podría reemplazar EasyOCR en el módulo A por YOLO [18].

### Refinar la detección de líneas

Implementar técnicas de postprocesamiento más robustas para unir líneas fragmentadas y filtrar trazos espurios con mayor precisión.

### Corrección de perspectiva y distorsión

Incorporar una etapa sistemática de corrección geométrica para mejorar la alineación entre la imagen base y la imagen escaneada del ejercicio resuelto.

[11] Ver Anexo I.

**Referencias**

[1] J. A. Fisteus, A. Pardo y N. F. García, "Grading multiple choice exams with low-cost and portable computer-vision techniques," Journal of Science Education and Technology, 2013. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s10956-012-9414-8.

[2] D. Álvarez Gutiérrez y L. Díaz Sanzo, COETEST: Corrección óptica de exámenes de test en papel automática, rápida y económica, en Actas de las XVII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2011), Sevilla, España, 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277036425_COETEST_Correccion_optica_de_examenes_test_en_papel_automatica_rapida_y_economica. [Consultado el 27-ago-2025].

[3] M. Shaikh, M. Mohiuddin y S. Manzoor, Automated Grading for Handwritten Answer Sheets using Convolutional Neural Networks, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/337792309_Automated_Grading_for_Handwritten_Answer_Sheets_using_Convolutional_Neural_Networks. [Consultado el 27-ago-2025].

[4] M. Lu, W. Zhou y R. Ji, Automatic Scoring System for Handwritten Examination Papers Based on YOLO Algorithm, Journal of Physics: Conference Series, vol. 2026, art. 012030, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/355292933

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



_Automatic_Scoring_System_for_Handwritten_Examination_Papers_Based_on_YOLO_Algorithm [Consultado el 27-ago-2025].
[5] A. Fernandi, S. Sa'idah y R. Magdalena, Handwritten Hiragana Letter Detection Using CNN, JOIV: International Journal on Informatics Visualization, vol. 8, núm. 3-2, pp. 1916–1922, 2024. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.62527/joiv.8.3-2.3035 [Consultado el 27-ago-2025].
[6] W. Xie, J. Niu, C. J. Xue y N. Guan, Grade Like a Human: Rethinking Automated Assessment with Large Language Models, 2024. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2405.19694 [Consultado el 27-ago-2025].
[7] C. Impey, M. Wenger, N. Garuda, S. Golchin y S. Stamer, Using Large Language Models for Automated Grading of Student Writing about Science, 2024. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2412.18719 [Consultado el 27-ago-2025].
[8] M. A. Paz Menvielle, M. A. Groppo, M. M. Marciszack, A. Guzmán, K. Ligorria y M. Cassatti, Arquitectura y operatoria de un sistema de corrección de exámenes automatizado, utilizando grafos dirigidos, Revista Tecnología y Ciencia, vol. 16, no. 33, pp. 29–44, 2018. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.33414/rtyc.33.29-44.2018 [Consultado el 27-ago-2025].
[9] Y. Moon, J. Lee, D. Mun y S. Lim, Deep Learning-Based Method to Recognize Line Objects and Flow Arrows from Image-Format Piping and Instrumentation Diagrams for Digitization, Applied Sciences, vol. 11, núm. 21, art. 10054, 2021. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.3390/app112110054 [Consultado el 27-ago-2025].
[10] M. Bresler, D. Průša y V. Hlaváč, Detection of Arrows in On-Line Sketched Diagrams Using Relative Stroke Positioning, en Proceedings of the IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), 2015, pp. 1–8. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1109/WACV.2015.87 [Consultado el 27-ago-2025].
[11] P. Rajan y T. Hammond, From Paper to Machine: Extracting Strokes from Images for use in Sketch Recognition, en Proceedings of the Fifth Eurographics Conference on Sketch-Based Interfaces and Modeling, 2008, pp. 145–152. [En línea]. Disponible en: https://diglib.eg.org/items/eb6dd022-0a3a-4ebd-8636-d751fb413f6d [Consultado el 27-ago-2025].
[12] V. Jocovic, B. Nikolic y N. Bacanin, Software System for Automatic Grading of Paper Tests, Electronics, vol. 12, núm. 19, art. 4080, 2023. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.3390/electronics12194080 [Consultado el 27-ago-2025].
[13] I. Macdonald, "Probabilistic Hough Transform," CVonline, Universidad de Edimburgo, 1999. [En línea]. Disponible en: https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/AV1011/macdonald.pdf [Consultado el 27-ago-2025]
[14] G. Biau y E. Scornet, A Random Forest Guided Tour, TEST: An Official Journal of the Spanish Society of Statistics and Operations Research, vol. 25, núm. 2, pp. 197–227, junio 2016. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s11749-016-0481-7 [Consultado el 1-sep-2025].
[15] T. Boston, A. Van Dijk, P. Rozas Larraondo y R. Thackway, Comparing CNNs and Random Forests for Landsat Image Segmentation Trained on a Large Proxy Land Cover Dataset, Remote Sensing, vol. 14, núm. 14, 3396, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.mdpi.com/2072-4292/14/14/3396 . [Consultado el 1-sep-2025].
[16] G. Wang, J. Li, Y. Sun, X. Chen, C. Liu, Y. Wu, M. Lu, S. Song y Y. Abbasi Yadkori, Hierarchical Reasoning Model, arXiv, 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2506.21734 [Consultado el 27-ago-2025].
[17] L. Darlow, C. Regan, S. Risi, J. Seely y L. Jones, Continuous Thought Machines, arXiv, 8 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2505.05522 [Consultado el 27-ago-2025].
[18] Diwan, T., Anirudh, G., & Tembhurne, J. V. (2023). Object detection using YOLO: challenges, architectural successors, datasets and applications. Multimedia Tools and Applications, 82(6), 9243-9275.
[19] Aurélien Géron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras y TensorFlow, 2.ª ed., O'Reilly Media, 2019.
[20] United Nations ESCAP. Guidelines on the Application of New Technology to Population Data Collection and Capture. Capítulo: Optical Character Recognition (OCR) Technology. United Nations, 1999.
[21] C. Arana, "Redes neuronales recurrentes: Análisis de los modelos especializados en datos secuenciales," Serie Documentos de Trabajo No. 797, Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA), Buenos Aires, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.econstor.eu/handle/10419/238422 [Consultado el 27-ago-2025]

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ANEXO I
# Conceptos relacionados

**Decision Tree**
Un algoritmo de Machine Learning versátil que puede realizar tareas de clasificación [19].

**Random Forest Classifier**
Es un conjunto de árboles de decisión que introduce aleatoriedad durante el entrenamiento, ya que en cada división de un nodo se selecciona la mejor característica dentro de un subconjunto aleatorio de variables. Esto incrementa la diversidad entre los árboles y, como consecuencia, reduce la varianza del modelo (a costa de un ligero aumento del sesgo), logrando en general un mejor desempeño. [19]

**Optical Mark Recognition (OMR)**
Una herramienta de recolección de datos que puede reconocer cruces o checks en casilleros o Bubble Sheets. [20]

**Optical Character Recognition (OCR)**
Es un sistema que permite el reconocimiento de caracteres escritos a mano o impresos a partir de un escaneo o fotografía. [20]

**EasyOCR**
Un módulo de Python para extraer texto de imágenes con soporte para múltiples idiomas.[12]

**You Only Look Once (YOLO)**
Una arquitectura de modelos de visión por computadora que permite detectar y clasificar objetos en una fotografía en tiempo real. [18]

**Transformada de Hough Probabilística**
Una herramienta matemática que permite encontrar líneas rectas en una imagen. A diferencia de la Transformada de Hough Estándar, esta herramienta tiene mejor rendimiento en imágenes de mayor tamaño. [13]

**Redes Neuronales Recurrentes**
Un tipo de Red Neuronal Artificial con memoria, la cual le permite procesar datos secuenciales [21].

[12] JaidedAI, EasyOCR, 2024. [En línea]. Disponible en: https://github.com/JaidedAI/EasyOCR. [Consultado el 27-ago-2025].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# ANEXO II
# Glosario

Tabla 2. Glosario de términos.

| Término | Definición |
|---|---|
| Ejercicio UCF | Ejercicio de unión con flechas. |
| Símbolo | Conjunto de caracteres alfanuméricos o de otros alfabetos (por ejemplo, japonés) que representa a alguno de los conceptos en las columnas de un ejercicio UCF. |
| Bounding Box | Figura rectangular que encierra y delimita un símbolo en una imagen. |
| Trazo | Segmento recto del cual se conocen sus características geométricas. Es producto de aplicar la Transformada de Hough sobre una imagen. |
| Línea | Figura marcada a mano por estudiante, presentando ondulaciones o no, con el objetivo de conectar uno o más símbolos. |
| Unión cierta | Par de símbolos que están conectados por una línea en la imagen de un ejercicio UCF. No significa que los conceptos estén unidos correctamente según el marco teórico de la asignatura en la que se aplique el sistema, sino que es cierto que un estudiante unió esos símbolos con una flecha. |
| Problema A | Encontrar símbolos en una imagen de un ejercicio UCF. |
| Problema B | Encontrar líneas a partir de sus trazos en una imagen de un ejercicio UCF. |
| Problema C | Unir las líneas y símbolos previamente encontrados. |
| Pares de trazos | Par de trazos de los cuales se extraen características geométricas referidas a la relación entre un trazo y el otro, con el fin de utilizarlos para predecir si corresponden a la misma línea y son consecutivas. |
| Puntos de inicio y fin | Coordenadas de los puntos de inicio y de fin en la imagen de cada trazo. |
| Diferencia angular | Diferencia en la dirección o pendiente entre dos trazos. |
| Mínima distancia entre los extremos | Distancia más corta entre los puntos extremos de dos trazos. |
| Coincidencia de puntos extremos | Variable que indica si la mínima distancia entre los extremos es menor a un número elegido arbitrariamente. |
| Extensión relativa | Relación entre las longitudes de los trazos comparados. |
| Producto punto | Valor del producto punto entre los vectores directores de los trazos. |
| Densidad promedio de la zona | Medida que indica la concentración de trazos en el entorno de una línea. Se obtiene promediando los valores de un mapa de densidad generado a partir del trazado de todas las líneas, y refleja el grado de proximidad o continuidad estructural entre ellas. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# The Oracle: Un enfoque híbrido para la comparación de scripts de Python mediante métricas textuales y análisis semántico con LLM

*Matias Negrelli, Nicolás Hernández, Emanuel Ravera*
*Laboratorio de Investigación de Software*
*Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información*
*Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional.*

## Resumen

Este trabajo presenta The Oracle, una aplicación web disponible en https://theoracle-three.vercel.app. La herramienta compara pares de scripts de Python para estimar su similitud mediante tres algoritmos clásicos de análisis de texto: Term Frequency [1] con similitud del coseno, Índice de Jaccard [2] y distancia de Levenshtein [3]. Además, complementa el análisis con una inspección semántica provista por la API[1] (Application Programming Interface) de Gemini.

The Oracle entrega tres resultados principales. Primero, un puntaje de similitud según la métrica seleccionada. Segundo, un reporte cualitativo que incluye las técnicas de modificación detectadas y dos descripciones generadas por Gemini: una sobre la implementación y otra sobre la funcionalidad. Tercero, una función opcional de reescritura de código que crea variantes del script original bajo instrucciones del usuario.

Los resultados experimentales muestran que este enfoque híbrido (algoritmos + IA) mejora la interpretabilidad y ofrece diagnósticos más robustos frente a modificaciones superficiales. La arquitectura de la aplicación se apoya en el protocolo AG-UI[2] (Agente – Interfaz de Usuario), un diseño que separa la lógica algorítmica de la capa visual para asegurar modularidad, escalabilidad y mantenibilidad.

## 1. Introducción

La comparación automática de código fuente es un campo con gran relevancia tanto en ámbitos académicos como industriales. En la educación, los sistemas de detección de plagio permiten preservar la integridad académica y dar retroalimentación a estudiantes sobre la originalidad de sus soluciones. En la industria, la detección de clones y la identificación de variantes de software contribuyen al mantenimiento de grandes bases de código, reducción de redundancia y prevención de errores[3].

El problema central radica en que los scripts de programación pueden ser modificados de múltiples formas superficiales, cambios en comentarios, formato, renombrado de variables que no alteran la funcionalidad, pero confunden a los algoritmos tradicionales de comparación. Al mismo tiempo, existen transformaciones más profundas, como la reordenación de bloques o la sustitución de estructuras de control, que pueden alterar significativamente la estructura sintáctica sin necesariamente modificar la semántica. Por ello, un sistema robusto debe ser capaz de distinguir entre cambios superficiales y cambios que afectan la implementación o la funcionalidad.

## 2. Problema

Dado un par de scripts de Python, estimar su similitud cuantitativa y explicar de manera cualitativa qué tipo de cambios se aplicaron. La solución debe superar las limitaciones de las métricas puramente textuales, que en ciertos contextos sobreestiman o subestiman la similitud.

## 3. Hipótesis

La combinación de métricas textuales (TF+coseno, Jaccard, Levenshtein) con un análisis semántico asistido por un LLM mejora la estabilidad de los puntajes ante transformaciones triviales, la capacidad para discriminar entre modificaciones cosméticas y funcionales, y la interpretabilidad de los resultados para el usuario final.

Se postula además que la integración de una funcionalidad de reescritura controlada de código permitirá generar datasets sintéticos y casos de prueba que validen mejor el comportamiento de las métricas.

Para abordar esta problemática se desarrolló The Oracle, una aplicación web que implementa un pipeline híbrido. La solución incorpora tres algoritmos textuales clásicos, complementados con los servicios de análisis y reescritura de la API de Gemini, enmarcados bajo el denominado Protocolo AG-UI. Esta combinación busca no solo calcular porcentajes de similitud, sino también proveer explicaciones interpretables y generar variantes de código para experimentación controlada.

[1] https://ai.google.dev/gemini-api/docs?hl=es-419
[2] https://webflow.copilotkit.ai/blog/intro-to-ai-agents
[3] https://www.ugr.es/~plagio_hum/Documentacion/06Publicaciones/ART003.pdf

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 4. Protocolo AG-UI

El Protocolo AG-UI es un enfoque arquitectónico diseñado para aplicaciones donde la lógica algorítmica debe estar desacoplada de la presentación visual. Su premisa principal es que los algoritmos centrales (en este caso, los de similitud y análisis de texto) se implementen y validen de forma independiente, mientras que la interfaz gráfica se limita a invocar, mostrar y facilitar la interacción con dichos algoritmos.

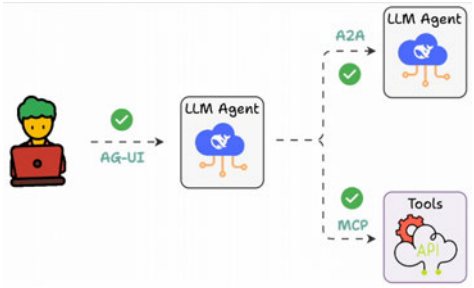



Figura 2. Protocolo AG-UI

Características principales del protocolo:

- **Separación de responsabilidades:** los algoritmos se agrupan en un módulo dedicado (AG), mientras que la UI se centra exclusivamente en la experiencia del usuario.
- **Independencia tecnológica:** el núcleo algorítmico puede desarrollarse en un lenguaje o framework distinto al de la UI. En The Oracle, los algoritmos están en JavaScript y la interfaz en React + Tailwind + TypeScript [5].
- **Escalabilidad:** permite incorporar nuevos algoritmos de comparación sin afectar la interfaz. El protocolo estandariza la comunicación entre AG y UI.
- **Pruebas y validación:** el núcleo AG puede ser testeado de forma unitaria con datasets sintéticos, sin necesidad de levantar toda la interfaz.
- **Reutilización:** el módulo AG puede integrarse en otras aplicaciones o entornos distintos con mínimos cambios.

## 5. Beneficios para The Oracle

- **Mantenibilidad:** los algoritmos (TF+coseno, Jaccard, Levenshtein) están encapsulados en un módulo reutilizable.
- **Extensibilidad:** se pueden añadir algoritmos estructurales (AST, CFG) sin modificar la interfaz.
- **Consistencia visual:** la UI permanece estable, mostrando resultados y reportes de Gemini de forma uniforme.
- **Optimización del flujo de trabajo:** al seguir el patrón, la API de Gemini se conecta directamente al módulo AG, que procesa y devuelve los resultados ya preparados para la U

## 6. Comparación con otros patrones

A diferencia de MVC (Modelo-Vista-Controlador) o MVVM (Modelo-Vista-Modelo de Vista)[4], que centran la separación en datos, vistas y controladores, Protocolo AG-UI se enfoca en el aislamiento del motor algorítmico frente a la interfaz. Esto lo hace más adecuado para aplicaciones de análisis comparativo como The Oracle, donde la lógica de procesamiento de datos es intensiva y evoluciona más rápido que la capa visual.

## 7. Metodología (Algoritmos de similitud)

**Term Frequency + Similitud del Coseno:** El algoritmo implementado en The Oracle tokeniza ambos scripts y genera vectores de frecuencia de términos (TF). La tokenización se realiza aplicando una expresión regular que extrae secuencias alfanuméricas y guiones bajos (\b\w+\b), transformando previamente todo el texto a minúsculas. Esto asegura que identificadores como “Variable”, “variable” o “VARIABLE” se consideren equivalentes, y elimina el ruido de símbolos de puntuación o espacios. El resultado es una lista normalizada de tokens que alimenta el cálculo de frecuencias.

Cada vector se normaliza dividiendo las ocurrencias de cada token por la longitud total del texto. La similitud se obtiene calculando el coseno entre ambos vectores, definido como el cociente entre el producto punto y el producto de las magnitudes.

Inicialmente se consideró el uso de TF-IDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency), pero se determinó que era erróneo aplicarlo en este contexto, ya que TF-IDF se utiliza para ponderar términos en un corpus amplio, mientras que aquí se trata de una comparación directa entre dos scripts. El factor IDF pierde sentido y distorsiona los resultados. Por ello, The Oracle emplea únicamente TF normalizado + coseno.[5]

**Índice de Jaccard:** Implementado mediante la construcción de conjuntos de tokens para cada script

[4]https://dev.to/chiragagg5k/architecture-patterns-for-beginners-mvc-mvp-and-mvvm-2pe7

[5]https://medium.com/@anurag-jain/tf-idf-vectorization-with-cosine-similarity-eca3386d4423

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La similitud se calcula como el tamaño de la intersección dividido por el tamaño de la unión. La simplicidad del algoritmo lo hace eficiente, pero al ignorar la frecuencia y el orden de aparición, se vuelve vulnerable a cambios superficiales (comentarios, formato o redundancias).[6]

**Levenshtein:** The Oracle implementa la distancia de Levenshtein normalizada, que mide el número mínimo de operaciones de edición (inserción, eliminación o sustitución de caracteres) necesarias para transformar un script en otro. Posteriormente, la similitud se calcula como 1 menos la distancia relativa. Aunque captura modificaciones locales con gran sensibilidad, penaliza excesivamente los reordenamientos de bloques grandes de código.[7] [4]

## 8. Análisis semántico con LLM

La API de Gemini recibe tanto el código original como el modificado y mediante un prompt previamente diseñado produce:

- Técnicas de modificación detectadas.
- Un análisis breve sobre la equivalencia funcional.
- Una evaluación de diferencias de implementación.

Este módulo complementa los resultados cuantitativos, ofreciendo una capa explicativa que cubre los fallos de los algoritmos clásicos.

La versión utilizada de la API de Gemini es Gemini 2.5 Flash, un modelo de lenguaje de última generación optimizado para tareas de análisis de código y generación estructurada de respuestas.

## 9. Resultados

La siguiente tabla resume el comportamiento de cada métrica frente a diferentes técnicas de modificación:

| **Técnica de modificación** | **TF-SC** | **Jaccard** | **Levenshtein** | **IA** |
|---|---|---|---|---|
| Modificación de comentarios | 90.18% | 51.82% | 78.91% | ✓ |
| Cambio de formato | 100% | 100% | 96.98% | ✓ |
| Renombrado | 90.41% | 81.37% | 90.58% | ✓ |
| Reordenación de código | 100% | 100% | 53.85% | ✓ |
| Cambios de tipos de datos | 99.61% | 97.87% | 98.47% | ✓ |
| instrucciones redundantes | 91.05% | 68% | 76.60% | ✓ |
| Estructuras de control equivalentes | 96.13% | 91.01% | 85.08% | ✓ |
| Modificación de funcionalidad | 93.74% | 82.14% | 72.24% | ✓ |

Tabla 1. Resultados de The Oracle

Observaciones:

- TF+coseno se mostró estable en todos los casos.
- Jaccard fue sensible a modificaciones superficiales como comentarios o redundancias.
- Levenshtein penaliza fuertemente la reordenación de código.
- La IA detectó correctamente todas las técnicas en el 100% de los casos ✓.
- En situaciones donde las métricas textuales arrojaron resultados engañosos o inconsistentes (levenshtein en el caso de “reordenación de código” y Jaccard en “Modificación de comentarios”), la IA corrigió el fallo al identificar la modificación real y describir su impacto.

[6] https://www.grapheverywhere.com/algoritmo-de-similaridad-de-jaccard/

[7] https://medium.com/@tejaswiyadav221/the-levenshtein-distance-algorithm-a-string-metric-for-measuring-the-difference-between-two-269afbbddd34

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 10. Discusión

Los resultados confirman la hipótesis: un análisis híbrido mejora la interpretación. TF+coseno se comportó de manera robusta, mientras que Jaccard y Levenshtein tienen limitaciones según el tipo de transformación. La IA añadió valor explicando el tipo exacto de modificación, algo que las métricas numéricas por sí solas no pueden lograr.

Fallos de los algoritmos y cobertura de la IA:

**TF + Coseno:** falla en casos de reordenamiento, donde la proporción de tokens permanece igual y la métrica indica similitud plena sin reflejar cambios estructurales.

**Jaccard:** falla ante modificaciones superficiales, como añadir comentarios, penalizando de manera desproporcionada.

**Levenshtein:** falla con reordenamientos grandes, interpretándose como diferencias absolutas.

En contraste, la IA siempre identificó la técnica aplicada, incluso cuando los algoritmos entregaban valores engañosos. Esto la convierte en un complemento indispensable para el sistema, aportando precisión interpretativa y explicaciones cualitativas.

## 11. Limitaciones

Aunque The Oracle combina métricas textuales y un modelo LLM, también existen limitaciones que deben reconocerse. En primer lugar, el uso de la API de Gemini implica una dependencia de un proveedor externo, lo que condiciona la continuidad del servicio y los costos de uso en escenarios de gran escala. Además, como todo modelo de lenguaje, Gemini puede heredar sesgos de sus datos de entrenamiento y producir análisis que reflejen tales sesgos. Finalmente, la ejecución de múltiples validaciones o reescrituras puede resultar costosa en términos de recursos computacionales y financieros, lo que limita su aplicación masiva en contextos educativos con gran número de estudiantes o en auditorías extensivas.

Estas restricciones señalan la necesidad de explorar alternativas complementarias, como modelos locales o híbridos que reduzcan la dependencia y los costos.

## 12. Conclusiones

El aporte principal de este trabajo es demostrar que la integración de LLMs dentro de un pipeline de comparación de código permite superar limitaciones históricas de las métricas textuales. Mientras que algoritmos como TF + coseno, Jaccard o Levenshtein proporcionan medidas cuantitativas valiosas, suelen fallar frente a modificaciones superficiales o reordenamientos estructurales. La incorporación de un modelo de lenguaje avanzado como Gemini 2.5 Flash añade la capa semántica necesaria para interpretar los cambios, corregir los sesgos de las métricas y ofrecer explicaciones claras sobre la equivalencia funcional y la implementación.

Este enfoque híbrido sienta las bases para un nuevo paradigma en el análisis automático de código: uno que combina precisión numérica con comprensión semántica. De esta manera, se logran no solo puntajes de similitud más robustos, sino también diagnósticos interpretables que enriquecen la toma de decisiones en educación, auditoría y desarrollo de software.

De cara al futuro, la arquitectura basada en el patrón AG-UI abre múltiples posibilidades: soportar nuevos lenguajes de programación y generar datasets sintéticos para entrenar y evaluar algoritmos. Con estas líneas de trabajo, The Oracle se proyecta como una herramienta capaz de evolucionar hacia sistemas de comparación más confiables, transparentes y adaptados a las necesidades reales de la ingeniería de software.

## 13. Futuras expansiones de The Oracle

The Oracle tiene un camino prometedor hacia su expansión. Los planes futuros se centran en mejorar su capacidad de análisis y aplicabilidad.

**Análisis a nivel de proyecto:** Extender el análisis de scripts individuales a proyectos completos, lo que implicaría comparar múltiples archivos, sus dependencias y la interacción entre ellos. Esto requerirá el desarrollo de algoritmos más complejos que analicen la estructura del software, no solo el contenido de los archivos.

**Integración de nuevos algoritmos:** Se plantea la integración de algoritmos de comparación estructural, como aquellos basados en Árboles de Sintaxis Abstracta (AST) y Grafos de Flujo de Control (CFG). Un AST es una representación jerárquica de la estructura del código que abstrae los detalles sintácticos, mientras que un CFG representa todos los caminos que la ejecución del programa podría seguir. Estos algoritmos serían mucho más robustos frente a modificaciones superficiales, ya que se centran en la estructura lógica del código y no en su representación textual.

**Soporte multilenguaje:** Actualmente, The Oracle está enfocado en Python. Expandir el soporte a otros lenguajes de programación sería un siguiente paso natural para aumentar la utilidad de la herramienta en diferentes contextos académicos e industriales.

**Uso de modelos locales y alternativos:** Se proyecta evaluar el empleo de modelos de lenguaje ejecutados localmente o en entornos híbridos. Esto permitiría reducir la dependencia de proveedores externos como Gemini, minimizar costos y ofrecer mayor control sobre privacidad y personalización. Asimismo, se contempla la incorporación de otros modelos en la nube, como ChatGPT o Claude, capaces de realizar las mismas funciones que Gemini (detección de técnicas, análisis de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



equivalencia y reescritura de código). De este modo, Oracle podría diversificar su infraestructura de análisis y evitar depender de un único proveedor.

## 14. Referencias

[1] Moyotl-Hernández, E., & Jiménez-Salazar, H. (2004). An analysis on Frequency of terms for Text Categorization. Procesamiento del lenguaje natural, 33.

[2] Abdullah, S. M., Ali, S. M., & Makttof, M. A. (2019). Modifying Jaccard coefficient for texts similarity. Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales, (19), 28.

[3] Mego Lizana, J. A., & Cespedes Bravo, S. M. Algoritmo para la corrección de textos en español basados en los algoritmos Metaphone y Distancia de Levenshtein.

[4] Amón, I., & Jiménez, C. (2010). Funciones de similitud sobre cadenas de texto: una comparación basada en la naturaleza de los datos. In CONF-IRM Proceedings (Vol. 58).

[5] MatiasSoft. (2025, 13 de agosto). The-Oracle [Repositorio de código]. GitHub. https://github.com/MatiasSoft/The-Oracle

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Anexo

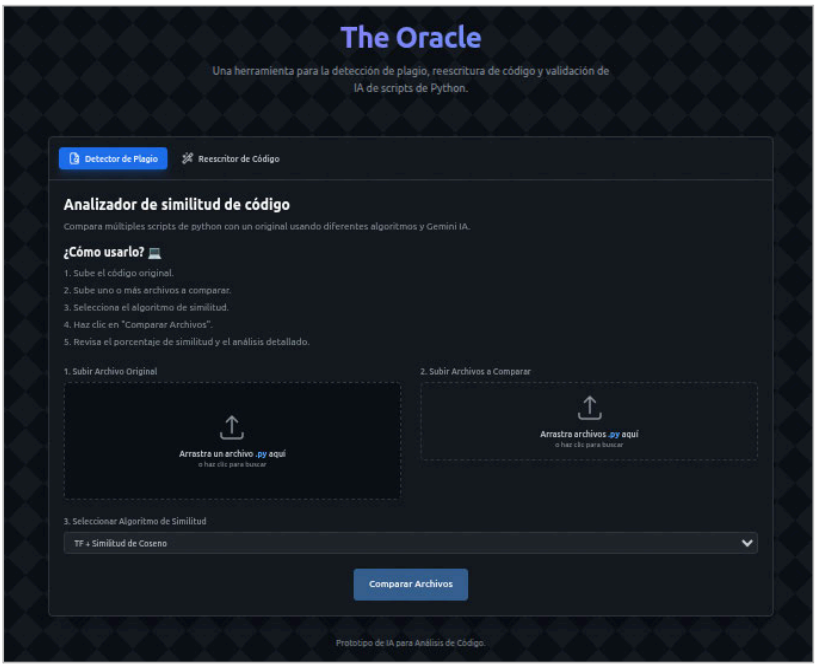



Figura 2. Interfaz The Oracle.

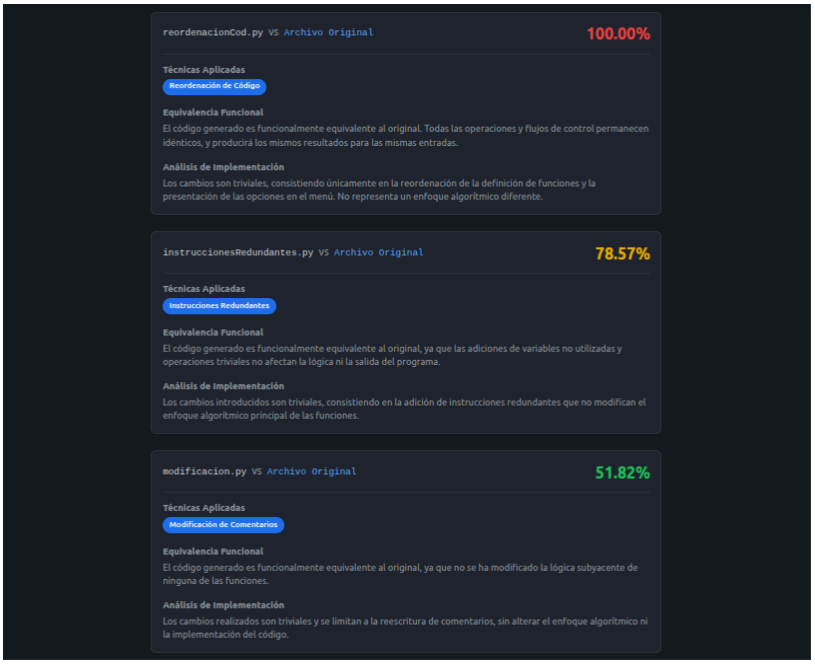



Figura 3. Resultados de The Oracle.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Automatización del Análisis de Puntos de Función mediante Inteligencia Artificial: Implementación de un Web Service

***Britos, Sofia Ailen***
***Laboratorio de Investigación de Software***
***Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información***
***Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional***

**Resumen**

*Este proyecto presenta una propuesta de automatización del Análisis de Puntos de Función (FPA) según el estándar NESMA, mediante Inteligencia Artificial, implementada como un Web Service.*

*El sistema recibe un documento PDF, del cual extrae automáticamente las user stories escritas en lenguaje natural, y emplea un modelo preentrenado de procesamiento de lenguaje para clasificarlas en las categorías de FPA (Entradas Externas, Salidas Externas, Consultas Externas, Archivos Lógicos Internos y Archivos de Interfaz Externa). Una vez realizada la clasificación, se procede al cálculo de la estimación de puntos de función. La arquitectura propuesta está desarrollada en Spring Boot e integra servicios de IA accesibles vía API.*

**Palabras claves**: Análisis de Puntos de Función (FPA), NESMA, Inteligencia Artificial, Web Service, Users Stories, Entradas Externas (EI), Salidas Externas(EO), Consultas Externas (EQ), Archivos Lógicos Internos (ILF), Archivos de Interfaz Externa (EIF), Categorías de FPA, API.

## Introducción

La estimación de software es un proceso clave en la ingeniería de sistemas, ya que permite dimensionar el esfuerzo, costo y tiempo necesarios para el desarrollo de proyectos. Dentro de las metodologías existentes, el FPA se ha consolidado como un estándar ampliamente utilizado, en particular bajo las directrices de la **NESMA**[1] (Netherlands Software Metrics Association).

El FPA permite medir el tamaño funcional de un sistema a partir de los requerimientos de usuario, clasificando sus funciones en categorías.

A pesar de sus ventajas, la aplicación del FPA de manera tradicional presenta limitaciones: requiere analistas con experiencia, demanda tiempo significativo y puede verse afectada por la subjetividad en la interpretación de los requerimientos. En un contexto donde los equipos de desarrollo adoptan metodologías ágiles y ciclos de entrega cada vez más cortos, la necesidad de herramientas que aceleren y estandaricen este proceso resulta evidente.

Este proyecto constituye una **segunda versión** [2] de una propuesta de automatización del FPA.

En la **primera** versión, el enfoque estuvo orientado a **proyectos tradicionales** basados en metodologías como **PUD/RUP** (Proceso Unificado de Desarrollo), donde se implementaron de manera automatizada los métodos de conteo **IFPUG** y **NESMA** mediante algoritmos específicos. Para ello se toman como **fuentes de información**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



los artefactos característicos de dichos procesos, tales como diagramas de casos de uso, modelos de objetos y clases de análisis generados con herramientas UML o CASE.

La **segunda** versión, presentada en este trabajo, avanza un paso más al incorporar técnicas de Inteligencia Artificial para el análisis de proyectos en **entornos ágiles**, donde los requerimientos se expresan en forma de user stories redactadas en lenguaje natural. La integración de modelos de lenguaje permite procesar automáticamente estas descripciones, identificar funciones de datos y transaccionales, asignarles complejidad y estimar el esfuerzo en puntos de función, ofreciendo un enfoque más flexible y adaptado a la naturaleza iterativa e incremental de los proyectos ágiles.

En los últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) y, en particular, el Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), han demostrado un gran potencial para asistir en tareas de análisis de texto, clasificación y extracción de información. Estas capacidades abren la posibilidad de aplicar modelos preentrenados al análisis de requerimientos en lenguaje natural, con el fin de automatizar parte del proceso de estimación funcional.

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la viabilidad técnica de integrar modelos de IA en el proceso de análisis FPA, evaluando sus beneficios en términos de reducción de tiempo, estandarización del proceso y disminución del sesgo humano.

Para comprender adecuadamente esta propuesta, resulta necesario introducir el marco metodológico que la sustenta, en particular el estándar definido por la **NESMA**, ampliamente utilizado en la estimación funcional de proyectos de software.

## 1. Fundamentación teórica

### 1.1 NESMA

Significa **Netherlands Software Metrics Association**. Es una organización que desarrolló **estándares para medir el tamaño funcional de software** usando **Análisis de Puntos de Función (FPA)**.

En otras palabras: NESMA **define reglas y guías precisas** para calcular los puntos de función de un sistema, asegurando que distintos analistas puedan estimar el tamaño funcional de manera **consistente y comparable**.

Algunas características clave de NESMA:

- Es **independiente de la tecnología**: no importa el lenguaje de programación ni la plataforma.
- Define claramente las **categorías de funciones**: EI, EO, EQ, ILF y EIF.
- Establece reglas para **asignar complejidad** a cada función y, por tanto, calcular los puntos de función totales.
- Facilita la **comparación entre proyectos** y la integración con estimaciones de costo y tiempo.

### 1.2 Análisis de Puntos de Función según NESMA

El **Análisis de Puntos de Función (FPA, Function Point Analysis)** es una técnica estandarizada para medir el tamaño funcional de un sistema de software a

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



partir de sus requerimientos, independiente del lenguaje de programación o la tecnología utilizada. Su objetivo es cuantificar la funcionalidad entregada al usuario, lo que permite estimar de manera más objetiva el esfuerzo, tiempo y costo necesarios para desarrollar o mantener un sistema.

Existen varios estándares de FPA, siendo uno de los más utilizados el de **NESMA**, que proporciona directrices precisas para la identificación, clasificación y valoración de las funciones elementales de un sistema. Según NESMA, las funciones se clasifican en cinco categorías principales:

1. **Entradas Externas (EI – External Input):** Transacciones que permiten al usuario ingresar información al sistema, generando un cambio en los datos internos.
2. **Salidas Externas (EO – External Output):** Transacciones que producen información derivada de datos internos, entregada al usuario, generalmente mediante reportes o mensajes.
3. **Consultas Externas (EQ – External Query):** Solicitudes de información que no modifican los datos internos, pero permiten obtener respuestas específicas del sistema.
4. **Archivos Lógicos Internos (ILF – Internal Logical File):** Conjuntos de datos controlados y mantenidos dentro del sistema, que representan entidades del negocio o del dominio.
5. **Archivos de Interfaz Externa (EIF – External Interface File):** Conjuntos de datos usados por el sistema pero mantenidos por otro sistema externo.

Una vez identificadas y clasificadas las funciones, se asigna a cada una un **nivel de complejidad** (bajo, medio o alto), basado en criterios como el número de archivos referenciados y el número de campos de datos. Cada categoría y nivel de complejidad tiene un **valor en puntos de función**, que permite calcular el tamaño total del sistema mediante la suma ponderada de todas las funciones.

El enfoque de NESMA destaca por su **claridad y estandarización**, facilitando la comparación entre proyectos y la integración con metodologías de estimación y planificación de software. Además, proporciona reglas explícitas para manejar transacciones compuestas, funciones repetidas y variabilidad en la interpretación de los requerimientos, reduciendo el sesgo subjetivo del analista.

### 1.3 Métodos de análisis de puntos de función

Nesma reconoce tres métodos de análisis de puntos de función:

- Análisis detallado de puntos de función
- Análisis de puntos de función estimados.
- Análisis de puntos de función indicativos.

Cada uno de estos métodos, constituye un método autónomo de medición de tamaño funcional por sí solo.

El método FPA de alto nivel o estimado y el método FPA indicativo no requieren requisitos detallados del usuario, mientras

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que el tamaño funcional determinado utilizando estos métodos es muy cercano al tamaño funcional determinado utilizando el método FPA detallado. Es por eso que estos dos métodos son muy adecuados para aplicarse temprano en el ciclo de vida del desarrollo de software o en caso de que sea necesario determinar rápidamente el tamaño funcional.

**a. FPA detallado**

Este es el método habitual de análisis de puntos de función y se realiza de la siguiente manera:

- Determinar todas las funciones de todos los tipos de funciones (ILF, EIF, EI, EO, EQ)
- Califique la complejidad de cada función (baja, media, alta)
- Calcular el recuento total de puntos de función no ajustados

**b. FPA de alto nivel (también conocido como FPA estimado)**

El método de análisis de puntos de función de alto nivel se realiza de la siguiente manera:

- Determinar todas las funciones de todos los tipos de funciones (ILF, EIF, EI, EO, EQ)
- Califique la complejidad de cada función de datos (ILF, EIF) como Baja y de cada función transaccional (EI, EO, EQ) como Promedio
- Calcular el recuento total de puntos de función no ajustados

Entonces, la única diferencia de esta aproximación con el método de análisis detallado de puntos de función es que la complejidad no se determina por función individual, sino de forma predeterminada.

**c. FPA indicativo**

El método de análisis de puntos de función indicativos se realiza de la siguiente manera:

- Determinar el número de funciones de datos (ILF y EIF);
- Calcule el recuento total de puntos de función no ajustados de la aplicación de la siguiente manera:

**tamaño indicativo (fp) = 35 x número de ILF + 15 x número de EIF**

Por tanto, esta aproximación se basa únicamente en los archivos lógicos (ILF y EIF).

El análisis de puntos de función indicativos se basa en el supuesto de que habrá alrededor de tres EI (para agregar, cambiar y eliminar información en el ILF), dos EO y un EQ en promedio para cada ILF, y alrededor de un EO y un EQ por cada EIF.

### 1.4 Asignación de puntos de función según complejidad - Nesma

Tras la clasificación, se asigna una **complejidad** a cada función (baja, media o alta), y se calculan los **puntos de función** de acuerdo con la siguiente tabla de Nesma:

| Tipo de función | Bajo | Promedio | Alto |
|---|---|---|---|
| Archivo lógico interno (ILF) | 7 | 10 | 15 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | |
|---|---|---|---|
| Archivo de interfaz externa (EIF) | 5 | 7 | 10 |
| Entrada externa (EI) | 3 | 4 | 6 |
| Salida externa (EO) | 4 | 5 | 7 |
| Consulta externa (EQ) | 3 | 4 | 6 |

## 2. Propuesta de solución

En un principio, se observó que la mayoría de los equipos de desarrollo adoptan metodologías ágiles, donde los requerimientos se documentan principalmente mediante user stories. Para automatizar el FPA, se decidió que el sistema debía recibir estas user stories de los proyectos y procesarlas de manera automática.

El flujo de análisis planteado consiste en:

1. **Extracción de entidades y casos de uso relacionados:** A partir de las user stories, se identifican las entidades funcionales y los use case asociados, que son relevantes para la medición de FPA.
2. **Clasificación según FPA de NESMA:** Cada entidad o caso de uso se categoriza en una de las cinco funciones elementales (EO, EI, EQ, ILF y EIF).
3. **Asignación de complejidad:** Una vez categorizadas, se asigna una complejidad por defecto a cada función, permitiendo el cálculo de los puntos de función de manera automática.

Durante la fase de diseño se evaluaron tres enfoques de implementación:

1. **Algoritmo basado en lógica pura:** Desarrollo de reglas y patrones heurísticos para identificar y clasificar entidades y casos de uso a partir del texto de las user stories.
2. **Integración de un modelo preentrenado:** Uso de un modelo de procesamiento de lenguaje natural ya entrenado, con comunicación vía API, para realizar la clasificación y extracción de información de manera más flexible y robusta frente a la variabilidad del lenguaje natural.
3. **Entrenamiento de un modelo específico:** Creación de un modelo entrenado o ajustado (fine-tuned[1]) con un conjunto de user stories previamente etiquetadas, lo que permite adaptar la IA al dominio particular del proyecto, mejorar la precisión en la clasificación y capturar patrones específicos de redacción de los equipos de desarrollo.

Finalmente, se optó por la **integración del modelo preentrenado**, priorizando su capacidad de manejar distintos estilos de redacción, la reducción de mantenimiento de reglas específicas y la escalabilidad frente a proyectos de mayor tamaño. Sin

[1] Un modelo *fine-tuned* es un modelo previamente entrenado (pretrained) sobre un gran conjunto de datos generales, al que luego se le realiza un **ajuste fino** con un conjunto de datos más específico y reducido, adaptándolo a una tarea concreta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



embargo, el entrenamiento de un modelo propio se plantea como un paso futuro para mejorar la precisión y personalización del análisis.

### 2.1 Alcance dentro del marco ágil

En el contexto de las metodologías ágiles, donde los requerimientos se documentan mediante *user stories* que evolucionan de manera iterativa, la aplicación del análisis automatizado de Puntos de Función puede abordarse desde dos niveles de alcance.

En primer lugar, el **uso principal propuesto es durante la fase inicial del proyecto**, cuando ya se dispone de un *backlog completo o suficientemente representativo*. En esta etapa, el análisis automatizado permite obtener una estimación base del tamaño funcional del sistema, facilitando la planificación global, la comparación entre proyectos y la proyección de recursos. Este enfoque aprovecha el potencial del modelo para procesar grandes volúmenes de *user stories* y producir una medición objetiva y reproducible, reduciendo la variabilidad inherente a las estimaciones manuales.

De manera complementaria, el proceso también puede aplicarse a nivel de Sprint. En este caso, el análisis se focaliza en las *user stories* nuevas o modificadas, permitiendo mantener la trazabilidad de los cambios en el esfuerzo estimado y reflejar la evolución funcional del sistema a lo largo de las iteraciones. Aunque este uso iterativo conlleva un mayor costo de procesamiento respecto a técnicas colaborativas como *planning poker*, resulta útil en contextos donde se requiere auditoría, control de métricas o seguimiento continuo del crecimiento funcional del producto.

En conjunto, esta estrategia posiciona al análisis FPA automatizado como una herramienta **complementaria** dentro del marco ágil: útil para la planificación inicial y valiosa para el seguimiento de cambios, sin sustituir las dinámicas colaborativas propias del desarrollo ágil.

## 3. Consideraciones sobre el modelo

### 3.1 Elección del modelo

Dentro de las opciones gratuitas disponibles en Hugging Face, se seleccionó el modelo `mistralai/Mistral-7B-Instruct-v0.2` por su equilibrio entre capacidad de comprensión de instrucciones (instruct-tuned) y eficiencia.

A continuación, se presentan los **requisitos técnicos** del modelo y su **justificación de elección**.

#### 3.1.1 Requisitos técnicos del modelo

Según las especificaciones automatizadas de Hugging Face, para realizar tareas de inferencia con **Mistral-7B-Instruct-v0.2**[2] se necesita aproximadamente:

- **16-bit (float16/bfloat16):**
  - **Tamaño total:** ~13.74 GB de VRAM
  - **Capa más grande:** ~432 MB
- **8-bit (int8):**
  - **Tamaño total:** ~6.87 GB de VRAM
- **4-bit (int4):**

[2]https://huggingface.co/mistralai/Mistral-7B-Instruct-v0.2/discussions/20

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Tamaño total:** ~3.44 GB de VRAM

Además, una fuente adicional indica que el modelo original tiene unos **7.3 mil millones de parámetros** y requiere en torno a **16 GB de GPU VRAM** para su funcionamiento estándar. [3]

Para integrarse con facilidad en diferentes entornos, el modelo también permite técnicas de **cuantización**, especialmente en 4 bits (load_in_4bit) utilizando librerías como `BitsAndBytes`, lo que reduce drásticamente los requerimientos de memoria sin sacrificar significativamente la calidad. [4]

### 3.2 Justificación de la elección

- **Gratis y accesible:** Al estar disponible en Hugging Face y no requerir suscripciones, se ajusta a los recursos disponibles del proyecto.
- **Capacidad instructiva:** Diseñado como modelo instruct-tuned, es adecuado para tareas de clasificación con prompts estructurados, como las de NESMA.
- **Balance entre potencia y recursos:** El soporte para cuantización (hasta 4-bit) permite correr el modelo incluso en hardware limitado, ideal para plataformas como Google Colab.
- **Largo contexto:** Soporta secuencias largas (hasta ~32K tokens), lo cual resulta útil cuando se procesan múltiples user stories en un mismo prompt. [5]

### 3.3 Alternativas de modelos

Este modelo representa un punto de partida sólido, pero la investigación continuará con otras alternativas:

- **google/gemini-3-270m**: modelo más pequeño y posiblemente más eficiente para hardware limitado.
- **Modelos DeepSeek**: por explorar mejoras en precisión o adaptabilidad al dominio específico.
- **Entrenamiento fino (fine-tuning)**: ajustar el modelo a las particularidades de proyectos ágiles mejorando su rendimiento y exactitud.

## 4. Implementación

El sistema se implementa como un **Web Service** desarrollado en **Spring Boot**, siguiendo una **arquitectura monolítica** y ofreciendo una **API REST** para la interacción con los usuarios y otros sistemas. La API cuenta con tres endpoints principales:

1. **Procesar PDF:** recibe un documento PDF y extrae automáticamente todas las user stories que contiene.
2. **Recibir user story individual:** permite enviar una user story de manera individual para su análisis.
3. **Recibir múltiples user stories:** admite el envío de varias user stories en un solo request,

[3] https://docs.mistral.ai/getting-started/models/weights/
[4] https://github.com/huggingface/transformers/blob/main/docs/source/en/model_doc/mistral.md
[5] https://apxml.com/models/mistral-7b-instruct-v0-2

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



optimizando el procesamiento de proyectos con mayor número de requerimientos.

Una vez recibidas las user stories, estas se combinan con un **prompt** previamente diseñado y se envían al modelo de IA preentrenado. El rol del modelo es clasificar cada historia en una de las categorías definidas por NESMA (EI, EO, EQ, ILF y EIF) y, adicionalmente, asignarle un nivel de complejidad (baja, media o alta). El resultado se devuelve en formato **JSON**, donde cada elemento contiene la descripción de la función, el tipo identificado y la complejidad estimada.

### 4.1 Integración con el modelo de IA

Dado que el modelo seleccionado se ejecuta en un entorno externo, se diseñó un flujo de comunicación entre el Web Service principal y un servicio auxiliar responsable de interactuar con el modelo de lenguaje.

Para este fin, se utilizó **Google Colab**[3] como entorno de ejecución, debido a su disponibilidad de recursos de cómputo y facilidad para experimentar con modelos.

En Colab se implementó una **API ligera** mediante **FastAPI**[6], la cual expone un único endpoint (`/generate`) encargado de recibir las user stories, ejecutar el modelo y retornar la clasificación correspondiente.

Para permitir la comunicación entre el Web Service desarrollado en Spring Boot y la API alojada temporalmente en Colab, se empleó **Ngrok** [7], herramienta que genera una URL pública y segura que actúa como túnel hacia el servidor local de FastAPI.
De este modo, el servicio en Spring Boot puede enviar solicitudes HTTP hacia la API en Colab como si se tratara de un servicio externo en la nube.

### 4.2 Procesamiento de la respuesta y limpieza de datos

El modelo devuelve su salida en formato texto, con variaciones sintácticas según el contexto o el estilo de redacción del modelo.
Por este motivo, se desarrolló una función de limpieza y normalización de la respuesta, cuyo objetivo es garantizar que el texto recibido contenga un JSON válido y estructurado antes de su análisis.

El proceso de limpieza realiza las siguientes tareas:

1. **Identifica** el bloque que contiene el objeto JSON.
2. **Elimina** posibles caracteres adicionales o comentarios generados por el modelo.
3. **Valida** la estructura y transforma el texto en un objeto JSON interpretable por Java.

Una vez validado, el Web Service recorre el contenido de la respuesta y, para cada función clasificada, asigna los valores correspondientes según la **tabla de complejidad definida** (detallado antes en el punto 1.4).
A partir de estos datos, el sistema genera automáticamente:

[6] https://fastapi.tiangolo.com/

[7] https://sendbird.com/developer/tutorials/what-is-ngrok

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- un **análisis detallado**, que muestra los puntos asignados a cada función individual, y
- un **análisis indicativo**, basado en el número de ILF y EIF detectados.

De esta forma, se obtiene la **estimación final en puntos de función**, que puede ser utilizada tanto para la planificación inicial del proyecto como para comparaciones posteriores entre iteraciones o versiones del sistema.

### 4.3 Prompt

El **diseño** del prompt fue un aspecto clave en el proceso. Se especificó explícitamente el rol que debía adoptar el modelo, las reglas de categorización de cada tipo de función FPA, así como ejemplos positivos y negativos para guiar la clasificación. Además, se incluyó un formato de respuesta esperado en JSON con un ejemplo ilustrativo, y se definieron restricciones claras respecto de qué información no debía ser generada. Finalmente, el conjunto completo de user stories se adjuntó como entrada.

En el diseño del prompt se apoyó en técnicas de **prompt engineering**. En lugar de utilizar un enfoque **zero-shot** (donde el modelo recibe únicamente la instrucción general sin ejemplos), se optó por un esquema **few-shot prompting**, en el cual se incluyen ejemplos de entradas y salidas esperadas para guiar la clasificación.

### 4.4 Formato de la respuesta del modelo y de la API

El **modelo de IA preentrenado** devuelve una lista de funciones elementales identificadas en las user stories, con su tipo y complejidad estimada:

```
[
  { "funcion": "Cliente", "tipo":
"ILF", "complejidad": "Alta" },
  { "funcion": "Factura", "tipo":
"ILF", "complejidad": "Media" },
  { "funcion": "Reporte", "tipo":
"EO", "complejidad": "Alta" }
]
```

A partir de esta información, el Web Service genera la **respuesta final de la API**, agregando los cálculos de puntos de función detallado e indicativo:

```
{
  "funciones": [
    { "funcion": "Cliente", "tipo":
"ILF", "complejidad": "Alta" },
    { "funcion": "Producto", "tipo":
"ILF", "complejidad": "Media" }
  ],
  "calculo_detallado": 150,
  "calculo_indicativo": 150
}
```

- **funciones:** lista de funciones elementales identificadas y clasificadas.
- **calculo_detallado:** suma de los puntos de función considerando la complejidad asignada a cada función según NESMA.
- **calculo_indicativo:** estimación preliminar basada en un cálculo simplificado para planificación rápida.

Este flujo permite separar claramente la **etapa de predicción del modelo** y la **etapa de cálculo y entrega final al usuario**, facilitando la integración con otros sistemas y la interpretación automática de los resultados.

### 4.5 Ejemplo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Bajo el contexto de un **sistema de reservas de hotel**, el Web Service procesa automáticamente un conjunto de user stories provenientes del backlog del proyecto.

A modo de ejemplo, se analizan las siguientes tres user stories:

1. "Como huésped, quiero buscar habitaciones disponibles según fecha y cantidad de personas, para poder realizar una reserva."
2. "Como huésped, quiero ver las fotos y descripciones de habitaciones, para poder elegir la más adecuada."
3. "Como huésped, quiero confirmar mi reserva y recibir una factura electrónica, para contar con un comprobante de pago."

Una vez recibidas, estas historias se combinan con el prompt previamente diseñado y se envían al modelo de **Mistral**.

El modelo clasifica cada historia según las categorías establecidas por **NESMA** (EI, EO, EQ, ILF y EIF) y asigna un nivel de complejidad (baja, media o alta), devolviendo el siguiente resultado en formato JSON:

```
{  "response": [
    {"funcion": "Buscar habitaciones
disponibles según fecha y cantidad de
personas", "tipo": "EQ","complejidad":
"media"}, { "funcion": "Ver fotos y
descripciones de habitaciones",
"tipo": "EO", "complejidad": "baja" },
{   "funcion": "Confirmar reserva y
recibir factura electrónica", "tipo":
"EO",    "complejidad": "alta" }
]}
```

El **Web Service** recibe esta respuesta y realiza el cálculo correspondiente en base a la tabla de complejidad definida por NESMA.

Para este conjunto de tres historias, el sistema obtuvo un **resultado detallado de 15 puntos de función**, mientras que el **análisis indicativo** arrojó un valor de **0 puntos**, debido a que no se identificaron funciones ILF o EIF en el conjunto procesado.

Ejemplo de salida de 3 user stories

```
{ "funciones": [
    { "funcion": "Buscar habitaciones
disponibles según fecha y cantidad de
personas", "tipo": "EQ",
"complejidad": "media" },
    { "funcion": "Ver fotos y
descripciones de las habitaciones",
"tipo": "EO", "complejidad": "baja" },
    { "funcion": "Confirmar reserva y
recibir comprobante de pago", "tipo":
"EO", "complejidad": "alta" } ],
    "calculo_detallado_PF": 15,
    "calculo_indicativo": 0 }
```

Al ampliar el análisis a un grupo de **15** user stories dentro del mismo contexto funcional (reserva, registro, pagos y reportes), el sistema estimó un resultado detallado de **75 puntos** de función y un indicativo de **70 puntos** de función.

Estos valores pueden ser utilizados como base objetiva para planificar el esfuerzo de desarrollo, estimar costos y comparar la productividad entre iteraciones o proyectos similares.

## 5. Limitaciones y alternativas técnicas en el uso de IA

Durante el inicio de la implementación, se decidió trabajar con **modelos de lenguaje preentrenados** para asistir en la clasificación y análisis de user stories. Sin embargo, este enfoque presentó diversos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



desafíos relacionados con la disponibilidad, el costo y la infraestructura requerida.

En primer lugar, las plataformas comerciales más consolidadas, como **OpenAI**[8] o **Gemini** [4] , requieren un esquema de pago para su utilización. Para integrar dichos servicios en proyectos con **Spring AI**[9] o **LangChain4j**[10] , es necesario disponer de claves de acceso y un presupuesto destinado al consumo de la API.

Como alternativa gratuita, se evaluó el uso de **Ollama**[11], una herramienta que permite descargar y ejecutar modelos localmente. Si bien ofrece la ventaja de prescindir de un servicio en la nube, su rendimiento depende de la capacidad del equipo de cómputo: el consumo de **RAM y CPU** puede ser significativo, y en equipos limitados los tiempos de respuesta pueden resultar elevados. La conexión desde la aplicación se realiza mediante la propia librería de Ollama, por lo que la integración es sencilla, aunque condicionada por la infraestructura disponible.

Otra opción explorada fue **Hugging Face**[5], plataforma que ofrece un amplio repositorio de modelos preentrenados de distintos tipos. A través de un **token de acceso** y la **API de inferencia**[6], es posible integrarlos directamente en el flujo de análisis. Sin embargo, no todos los modelos publicados son accesibles mediante este método, lo que restringe el abanico de alternativas disponibles.

[8] https://openai.com/es-419/index/introducing-gpt-5/
[9] https://docs.spring.io/spring-ai/reference/
[10] https://www.baeldung.com/java-langchain-basics
[11] https://www.hostinger.com/es/tutoriales/que-es-ollama

Finalmente, se implementó una estrategia complementaria utilizando **Google Colab** para ejecutar el modelo **Mistral**, disponible en **Hugging Face**, al cual se accede mediante un **token de acceso**. Para este fin se levantó un pequeño servidor web con **FastAPI** , encargado de recibir los prompts enviados desde la aplicación desarrollada en Spring Boot, procesar las user stories a través del modelo de lenguaje y devolver la clasificación correspondiente en formato JSON.

Con el objetivo de permitir el acceso externo, el servicio se expuso mediante **Ngrok** , que genera una **URL pública temporal** redirigiendo las peticiones hacia el servidor alojado en Colab. Esto posibilitó realizar pruebas de integración de forma gratuita y sin depender de la capacidad del hardware local, aprovechando los recursos de cómputo en la nube de Google.

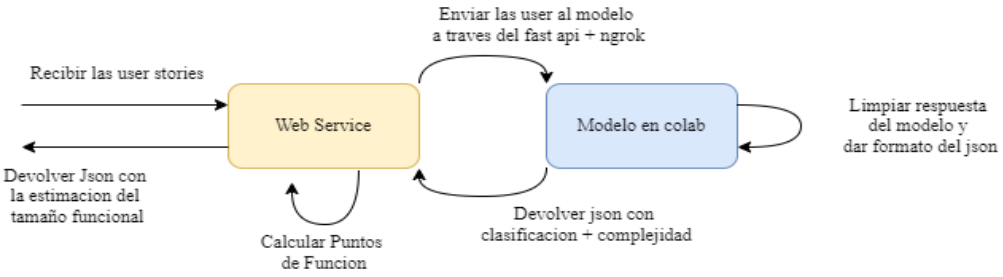
Es importante señalar que, para utilizar Ngrok, es necesario **crear una cuenta** en la plataforma y generar un **token de autenticación**, el cual debe configurarse en el entorno de ejecución de Colab para establecer el túnel seguro y habilitar el acceso externo a la API.

De este modo, la **API REST del Web Service** puede consumir el modelo como si se tratara de cualquier otro servicio externo, manteniendo la independencia entre la lógica de negocio y el procesamiento basado en IA.

### 5.1 Imagen del flujo implementado

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






**5.2 Ventajas:**

1. Permite **ejecutar modelos de gran tamaño** sin depender de la capacidad de la máquina local, lo que es especialmente útil para modelos que requieren alta capacidad de memoria RAM o GPU.
2. No se incurre en costos de suscripción a servicios comerciales, manteniendo la prueba de concepto **gratuita**.

**5.3 Limitaciones:**

1. La configuración inicial es más compleja, ya que implica levantar el servidor en Colab, instalar dependencias y exponerlo mediante Ngrok.
2. La URL generada por Ngrok es **temporal**, por lo que la sesión de Colab debe estar activa mientras se realizan las peticiones. Esto limita la estabilidad y confiabilidad para entornos de producción.
3. El tiempo de respuesta puede ser mayor en comparación con servicios comerciales optimizados, debido a la latencia de la red y la capacidad compartida del entorno de Colab.

## 6. Conclusión

Se evaluaron distintas alternativas técnicas para integrar modelos de lenguaje preentrenados, incluyendo plataformas comerciales (OpenAI, Gemini), ejecución local mediante Ollama, Hugging Face y ejecución remota gratuita a través de **Google Colab + Ngrok**.

Cada enfoque presenta ventajas y limitaciones, destacando que la elección depende del balance entre costo, capacidad de infraestructura y estabilidad requerida.

La solución implementada demuestra la viabilidad de integrar modelos de IA en el proceso de estimación funcional, reduciendo significativamente el tiempo requerido y minimizando la subjetividad del análisis manual.

## 7. Trabajos futuros

Como línea de trabajo futura, se plantea la posibilidad de **entrenar un modelo propio** ajustado específicamente a proyectos ágiles, lo que permitiría mejorar la precisión en la clasificación de user stories y la estimación de puntos de función. Además, se buscará **optimizar la eficiencia del flujo de procesamiento**, reduciendo tiempos de respuesta y aprovechando mejor los recursos disponibles.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Otro objetivo importante es explorar la integración directa en entornos de producción mediante servicios de IA confiables, eliminando la dependencia de soluciones temporales o de pruebas como Google Colab + Ngrok.

Asimismo, se contempla la integración con herramientas de gestión como **Jira**, de modo que las **user stories** puedan ser recibidas automáticamente desde el backlog del proyecto, procesadas por el modelo de IA y analizadas en términos de Puntos de Función sin necesidad de intervención manual.

Estas mejoras abrirán oportunidades para la **estandarización y automatización de métricas de software**, facilitando la planificación, seguimiento y gestión de proyectos en entornos ágiles y complejos.

**Agradecimientos**

Expreso mi agradecimiento a los **docentes investigadores y responsables del programa de becarios,** por su constante guía, acompañamiento y dedicación durante el desarrollo de este proyecto.

Su orientación y compromiso fueron fundamentales para afianzar los conocimientos técnicos y metodológicos aplicados en esta investigación.

Asimismo, agradezco profundamente a mis compañeros de equipo, por el apoyo, la colaboración y las valiosas discusiones que enriquecieron cada etapa del trabajo. Su disposición y compañerismo contribuyeron significativamente al logro de los objetivos propuestos.

**Referencias**

[1] Nesma FPA standard - Nesma. (2024, 17 febrero). Nesma. https://nesma.org/publications/documents/nesma-standard/

[2] Hernández, N., Castillo, J. J., Cardenas, M. E., Albarracín, G., & Victoria, J. (2024). Automatización de métodos de estimación basados en puntos de función mediante el análisis de diagramas UML. In *XXVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC)(Puerto Madryn, 18 y 19 de abril de 2024)*.

[3] Hasan, A. (2024, 18 noviembre). *Using Hugging Face Models in Google Colab: A Beginner's Guide*. DEV Community. https://dev.to/ajmal_hasan/using-hugging-face-models-in-google-colab-a-beginners-35ll

[4] Caballar, R., & Stryker, C. (2025, 3 junio). Google Gemini. *IBM*. https://www.ibm.com/think/topics/google-gemini#:~:text=Gemini%20is%20Google's%20large%20language,software%20code%2C%20text%20and%20video.

[5] Castaño, J., Martínez-Fernández, S., Franch, X., & Bogner, J. (2024, April). Analyzing the evolution and maintenance of ml models on hugging face. In Proceedings of the 21st International Conference on Mining Software Repositories (pp. 607-618).

[6] Hugging Face Inc., "Hugging Face Hub Documentation," https://huggingface.co/docs/hub/index, 2023.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# MCP y sus bases en la ingeniería de prompt

**Montivero Miotto, Tito Santino**
***Laboratorio de Investigación de Software***
***Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información***
***Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional.***

**Abstract**
Los avances recientes en el campo de la inteligencia artificial (AI) y particularmente en los modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) han generado un ecosistema tecnológico en constante expansión. En esta rama de la (AI) podemos encontrar desarrollos recientes respecto a su arquitectura, a sus aplicaciones, a sus optimizaciones. En este contexto, el Model Context Protocol (MCP) se presenta como un estándar emergente que busca facilitar la integración entre LLMs y aplicaciones tradicionales, ofreciendo un marco seguro y estructurado para el intercambio de contexto. Este trabajo analiza en detalle el funcionamiento del MCP, identificando las técnicas de ingeniería de prompts y de gestión dinámica del contexto que incorpora, así como sus implicaciones para la optimización del rendimiento de los modelos. Adicionalmente, se discuten los beneficios y limitaciones del protocolo frente a otros enfoques de enriquecimiento contextual, con el objetivo de contribuir a una mejor comprensión de su papel en el diseño de sistemas inteligentes basados en NLP (natural language processing).

**Palabras Clave**
Model Context Protocol, LLMs, MCP, NPL, ingeniería de prompts, optimización de contexto, procesamiento de lenguaje natural.

## Introducción

El acelerado progreso en el desarrollo de modelos de lenguaje de gran escala (LLMs, por sus siglas en inglés)[1] ha impulsado la necesidad de establecer mecanismos estandarizados que permitan su integración con aplicaciones de software tradicionales. En este marco surge el Model Context Protocol[1], cuyo objetivo es proporcionar un lenguaje común de interacción entre modelos y herramientas externas, ampliando así el espectro de tareas que los sistemas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) pueden abordar. El protocolo se estructura en dos componentes fundamentales:

- **Core:** define la información que el modelo requiere, el formato en el que debe recibirla y los parámetros necesarios para ejecutar las aplicaciones asociadas.
- **Normalizaciones:** establecen aspectos esenciales para la comunicación confiable, incluyendo la seguridad, el protocolo de transporte y la arquitectura de referencia.

Actualmente, el MCP ofrece dos especificaciones principales de transporte: una basada en Standard IO y otra en Server-Sent Events (SSE)[2], diseñadas para garantizar la interoperabilidad dentro de una arquitectura cliente-servidor. Esta división permite que el protocolo sea suficientemente flexible para adaptarse a diferentes entornos de ejecución, manteniendo al mismo tiempo un marco de comunicación seguro y consistente.

[1] https://modelcontextprotocol.io
[2]https://html.spec.whatwg.org/multipage/server-sent-events.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El objetivo de este trabajo es realizar un análisis crítico del MCP, examinando su funcionamiento interno y los principios conceptuales que sustentan su diseño, con el propósito de construir una guía que oriente la toma de decisiones y establezca buenas prácticas para futuras implementaciones. De esta manera, se busca no solo comprender los fundamentos técnicos del protocolo, sino también evaluar su aplicabilidad y su potencial para optimizar el intercambio contextual en sistemas inteligentes basados en LLMs

**Ingeniería de prompt**

En múltiples escenarios, una consulta simple no resulta suficiente para que un modelo de lenguaje de gran escala (LLM) genere una respuesta satisfactoria. La denominada ingeniería de prompts (Prompt Engineering)[2] se ha consolidado como un conjunto de técnicas clave para ampliar las capacidades de los modelos sin necesidad de modificar sus parámetros internos. Al enriquecer el contexto de entrada, es posible mejorar significativamente la calidad de las respuestas, reduciendo la dependencia de enfoques más costosos como el fine-tuning especializado en tareas únicas[3].

Este principio no es exclusivo del MCP; se relaciona estrechamente con la estrategia de Retrieval-Augmented Generation (RAG) [4], en la cual el modelo accede a información adicional para complementar su conocimiento y producir salidas más precisas.

El MCP surge con el objetivo de estandarizar este proceso de enriquecimiento contextual, proporcionando, en palabras de sus desarrolladores, “una manera segura, estandarizada y sencilla para dar a los sistemas de IA el contexto que necesitan”. Sin embargo, un análisis más detallado revela que el protocolo no solo adopta estos conceptos, sino que también integra diversas técnicas de la ingeniería de prompts como mecanismos fundamentales para su funcionamiento.

**Funcionamiento**

El flujo de trabajo del Model Context Protocol (MCP) se basa en la interacción entre un cliente, responsable de gestionar las consultas hacia el modelo de lenguaje, y un servidor, encargado de generar el contexto adicional requerido.

La secuencia típica de operación puede describirse de la siguiente manera:

1. El cliente envía una petición inicial al LLM.
2. El LLM, al procesar la consulta, determina la necesidad de invocar una herramienta externa mediante el servidor MCP y devuelve una instrucción estándar de tipo call/tool.
3. El cliente redirige la solicitud hacia el servidor MCP.
4. El servidor procesa la petición y responde con el contexto o los resultados correspondientes.
5. El cliente reinyecta dicha información en el LLM para completar la tarea.
6. Finalmente, el cliente entrega la respuesta final al usuario.

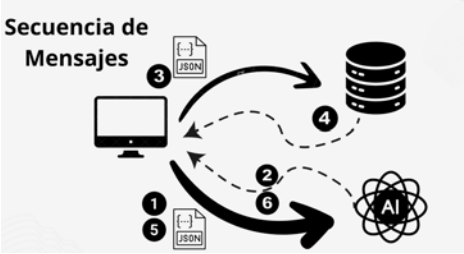



Figura 1. Flujo de interacción cliente-servidor en el MCP.

Además de este ciclo principal, el protocolo contempla comunicaciones auxiliares esenciales para su correcto funcionamiento como:

**Inicialización:** intercambio de capacidades y parámetros entre cliente y servidor.

**Discovery:** mecanismo que permite al cliente obtener dinámicamente la lista de comportamientos disponibles mediante el comando tools/list.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Notificaciones unidireccionales:** mensajes emitidos por el servidor para indicar cambios, que requieren un nuevo proceso de discovery por parte del cliente.

La fase de discovery implementa principios de la ingeniería de prompts Few-Shot[5], ya que el servidor puede proporcionar ejemplos de uso de sus herramientas, permitiendo que el LLM adquiera contexto explícito sobre cómo invocarlas y qué resultados esperar.

Asimismo, el diseño del MCP está orientado a habilitar la resolución de tareas complejas mediante cadenas de acciones. Al ofrecer parámetros, descripciones y resultados estandarizados para cada herramienta, el protocolo configura una arquitectura modular de bloques lógicos que el LLM puede combinar (ver fig. 2). Esta estructura favorece la aplicación de técnicas como Chain-of-Thought (CoT) [6] y Logic-of-Thought (LoT) [7] sobre la entrada, incrementando la capacidad del modelo para alcanzar objetivos mediante secuencias lógicas de pasos.

**Ejemplo ilustrativo:**
Considérese el caso de un usuario que consulta a un LLM: "¿Cuál fue el promedio de ventas mensuales de la base de datos de clientes durante el último trimestre?". El modelo, al no disponer de esa información internamente, tendría que generar una respuesta basada únicamente en el texto de la consulta y en su conocimiento general. Por otro lado, si cuenta con una base de datos con las ventas del último trimestre en un servidor MCP, puede responder con una instrucción para acceder a la herramienta de consulta SQL expuesta. El cliente redirige la solicitud al servidor, el cual ejecuta la query en la base de datos y devuelve el resultado estructurado en formato JSON {"promedio": 3520}. El cliente reinyecta este contexto en el LLM, que finalmente

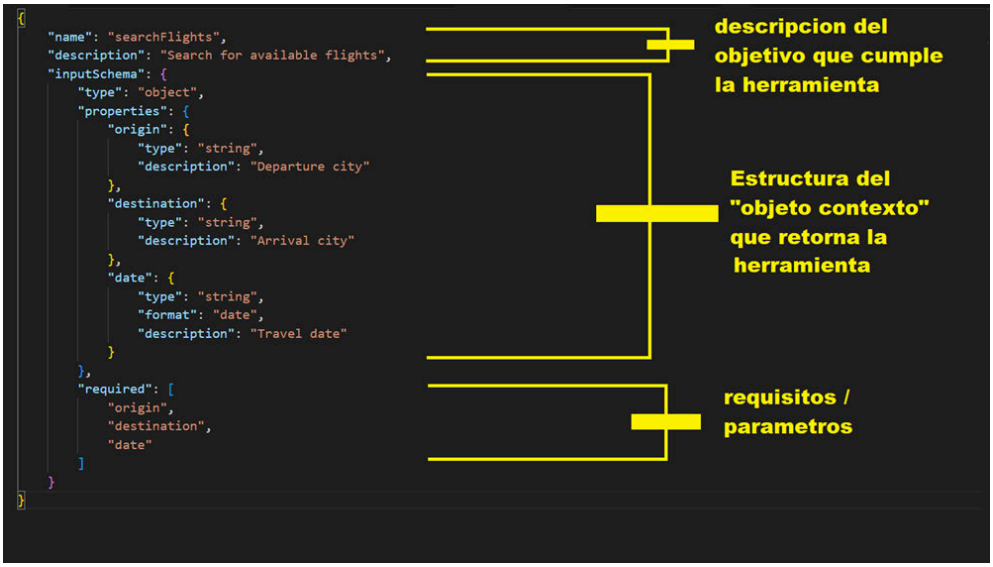



Figura 2. estructura de la respuesta "Discovery" de un servidor MCP (se ocultaron otros campos, para demostrar la estructura de bloque de acción)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



responde al usuario: “El promedio de ventas mensuales en el último trimestre fue de 3.520 unidades.”.
Este ejemplo demuestra cómo el MCP permite extender de manera flexible las capacidades de un LLM, combinando su poder “inferencial” con el acceso dinámico a fuentes externas de información.

**Experimento**
En el laboratorio realizamos algunos experimentos con esta tecnología. El primero consistió en obtener información actualizada en tiempo real a partir de páginas web, de manera que un modelo de lenguaje de gran escala pudiera utilizar dichos datos como contexto en consultas sobre eventos recientes. Para este propósito planteamos desarrollar un servidor MCP desarrollado en java con el framework spring. El cual contenía tres herramientas distintas.

**FetchInfoHTML:** que retorna el archivo HTML de una página web.
**CaptureWeb:** que toma un screenshot de una página web y lo guarda en un repositorio local.
**ReadFile:** que expone el contenido de un archivo desde un repositorio local.
Como componente cliente utilizamos el software de Anthropic, Claude desktop[3] y como modelo utilizamos la api de Claude Sonnet 4.

El propósito de esta configuración fue examinar los desafíos emergentes en escenarios de uso real del MCP, más allá de sus especificaciones teóricas. El primer obstáculo significativo surgió durante la fase de inicialización del servidor. Los mensajes de inicialización generados por el servidor no fueron interpretados correctamente por el cliente Claude, lo que resultó en fallos de conexión recurrentes. Este comportamiento puso de manifiesto la sensibilidad del protocolo a implementaciones específicas y la necesidad de un manejo robusto de los estados iniciales de la comunicación.

Una vez solventados los problemas de inicialización, se observó que el modelo Claude Sonnet 4 demostró un desempeño consistente en la selección e invocación de las herramientas disponibles. En todos los casos de prueba, el LLM identificó correctamente la herramienta pertinente para cada consulta y generó las instrucciones de ejecución adecuadas.

No obstante, se identificó una limitación operacional crítica relacionada con la política de tokens máxima impuesta por Anthropic para sus modelos. Un caso ilustrativo se presentó en el experimento en el cual se intentó inyectar texto derivado de una imagen como contexto. Se instruyó al agente para que generara una captura de una página web mediante la herramienta CaptureWeb y, posteriormente, utilizara ReadFile para interpretarla con el fin de integrarla luego como contexto en una consulta subsiguiente. Este procedimiento buscaba simular un flujo de trabajo en el que los recursos visuales obtenidos del entorno digital se transformaran en insumos procesables por el modelo y aunque los LLMs modernos pueden codificar/procesar imágenes en representaciones binarias, el número de tokens requerido para procesar una imagen completa resultó prohibitivo. La solución adoptada fue utilizar un sistema OCR(Optical character recognition) para preprocesar la imagen y convertirla en texto conciso, lo que incrementó de manera significativa la eficiencia del flujo y la pertinencia del contexto. Esta restricción imposibilita la ejecución de experimentos más avanzados que involucraran cadenas largas de acciones o el procesamiento de contextos sustanciales, tales como la inyección de múltiples capturas de pantalla o largos documentos HTML. Como consecuencia, fue necesario revaluar el stack tecnológico utilizado y considerar alternativas que permitieran una mayor

[3] https://claude.ai/download

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



flexibilidad en el manejo del volumen contextual para experimentos futuros.

**El protocolo y sus limitaciones**

Aunque el Model Context Protocol (MCP) representa un avance significativo al integrar de manera nativa prácticas de gestión de contexto, su adopción plantea diversos desafíos que requieren un análisis previo.

En primer lugar, la eficacia del protocolo depende estrechamente del modelo de lenguaje con el que se integre. Los ejemplos y descripciones que el servidor MCP ofrece para guiar al LLM pueden resultar más o menos útiles según el entrenamiento y las capacidades intrínsecas del modelo. Esta dependencia reproduce una de las principales limitaciones de la ingeniería de prompts: su carácter estocástico y poco predecible obliga a un proceso iterativo de prueba y error para alcanzar configuraciones óptimas, tal como se ha discutido en trabajos sobre Prompt Design and Engineering [8].

En segundo lugar, el protocolo establece un estándar de intercambio basado en JSON, pero no impone restricciones sobre la estructura o calidad de los datos internos. Esto traslada al desarrollador la responsabilidad de garantizar que la información proporcionada al modelo sea coherente, relevante y eficiente en términos de consumo de tokens.

En tercer lugar, si bien el protocolo ofrece la posibilidad de seleccionar entre distintos formatos de transporte, para implementaciones en entornos de producción, independientemente de la arquitectura de componentes, resulta altamente recomendable emplear el modo basado en Server-Sent Events (SSE). Aun cuando la especificación sustentada en Standard Input/Output (STDIO) es más sencilla de implementar, esta acapara por completo la salida serializada de los procesos en ejecución y dado que numerosas bibliotecas utilizan dicha salida para reportar advertencias, configuraciones u otros mensajes de estado, su uso puede generar conflictos de compatibilidad con el protocolo, comprometiendo la estabilidad del sistema.

Finalmente, la selección del modelo de lenguaje es un factor crítico. A medida que las tareas demandan cadenas de acciones más largas y complejas, se requiere un mayor poder de inferencia por parte del LLM. En ciertos escenarios, puede ser indispensable recurrir a modelos que implementen tecnologías de razonamiento más avanzadas, como el Logic-of-Thought (LoT), para mantener un desempeño adecuado.

En síntesis, si bien el MCP ofrece una base sólida para estandarizar la integración entre LLMs y herramientas externas, su efectividad está condicionada por factores como la calidad del modelo, el diseño de los datos de entrada y la correcta elección de técnicas de preprocesamiento. Estos elementos deben ser considerados cuidadosamente para evitar que el protocolo se convierta en una solución incompleta.

**Investigaciones futuras**

Como línea de trabajo futura, se plantea el desarrollo de un cliente propio que permita un control más detallado del flujo de interacción entre el modelo y el servidor MCP. Esta herramienta buscará no solo optimizar la gestión de las solicitudes y respuestas, sino también facilitar la recopilación de métricas precisas sobre el desempeño del protocolo en distintos escenarios de uso. Dichas métricas resultan fundamentales para evaluar la eficiencia del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



flujo de comunicación, la latencia entre eventos y la calidad del contexto inyectado, aspectos que hoy constituyen limitaciones observadas en implementaciones basadas exclusivamente en clientes genéricos.

Este avance permitira profundizar en el estudio de los componentes esenciales del protocolo, identificando cuáles de sus estrategias contribuyen de manera más significativa a la mejora del rendimiento general. Se proyecta avanzar hacia una evaluación comparativa entre diferentes arquitecturas de implementación, tanto en entornos controlados como en casos de uso reales. Este enfoque permitirá sentar las bases para una futura versión del protocolo.

**Conclusión**

El MCP constituye un aporte relevante en el emergente campo de la gestión y optimización del contexto aplicado a modelos de lenguaje. Al estandarizar la interacción entre LLMs y aplicaciones externas, el protocolo facilita la construcción de sistemas más robustos y flexibles, capaces de abordar tareas que trascienden las limitaciones de los enfoques tradicionales.

No obstante, su adopción exige un conocimiento mínimo de los fundamentos que dieron origen a la ingeniería de prompts y las técnicas de enriquecimiento contextual. El desconocimiento de estas puede derivar en implementaciones ineficientes o incluso ineficaces, desaprovechando el potencial del protocolo.

En consecuencia, el MCP debe ser entendido no como una solución definitiva, sino como un marco que amplía las posibilidades de integración de los LLMs. Su efectividad dependerá, en última instancia, de la capacidad de investigadores y desarrolladores para seleccionar modelos adecuados, diseñar contextos de calidad y aplicar estrategias de prompting que maximicen el rendimiento del ecosistema.

**Agradecimientos**

Al equipo del laboratorio de investigación por sus consejos y aportes. Y en particular al profesor Nicolas Hernandez por su guía y apoyo en dicha investigación.

**Referencias**

[1] X. Hou, Y. Zhao, Y. Liu, Z. Yang, K. Wang, L. Li, X. Luo, D. Lo, J. Grundy, and H. Wang, “Large language models for software engineering: A systematic literature review,” arXiv preprint arXiv:2308.10620, 2023.

[2] Sahoo, P., Singh, A. K., Saha, S., Jain, V., Mondal, S., & Chadha, A. (2024). A Systematic Survey of Prompt Engineering in Large Language Models: Techniques and Applications. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2402.07927

[3] Mou, L., Meng, Z., Yan, R., Li, G., Xu, Y., Zhang, L., & Jin, Z. (2016). How Transferable are Neural Networks in NLP Applications? arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.1603.06111

[4] Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W-t., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. In Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 9459–9474. Curran Associates, Inc.

[5] Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., . . . Amodei, D. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2005.14165

[6] Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Chi, E., Le, Q., & Zhou, D. (2022). Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2201.11903

[7] Liu, T., Xu, W., Huang, W., Wang, X., Wang, J., Yang, H., & Li, J. (2024). Logic-of-Thought: Injecting Logic into Contexts for Full Reasoning in Large Language Models. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2409.17539

[8] Amatriain, X. (2024). Prompt Design and Engineering: Introduction and Advanced Methods. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.2401.14423

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Datos de Contacto:**
*Tito Santino Montivero Miotto. CP: 5001.*
*zsantinoz@gmail.com.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# AUTOMATIZACIÓN CARGA DEL DATASET CONTENIDA POR IMÁGENES SAR SOBRE EMBARCACIONES CON INFORMACIÓN AIS

**J. Cotella§, F. J. Prado⌖, G. M. Steiner†. y K. A. Nemer Pelliza∗**

*Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba,*
*Centro de Investigación en Informática para la Ingeniería (CIII),*
*Email: §cotellajoaquin@gmail.com, ⌖francoprado2001@gmail.com ,*
*†gsteiner@frc.utn.edu.ar, ∗kanemer@gmail.com.*

Abstract
El proceso de descarga y filtrado de imágenes SAR demanda una considerable cantidad de recursos de cómputo y tiempo. Por ello, se presentará la automatización de un pipeline reproducible para la construcción de un dataset de imágenes SAR (Sentinel-1) de embarcaciones emparejadas con registros AIS. Aquí se describe un script que automatiza la descarga, el filtrado espacial y temporal, la detección de embarcaciones mediante SNAP, el recorte automático de ventanas de 100×100 píxeles y el emparejamiento con registros AIS públicos. Se enfatiza la configurabilidad del emparejamiento espacio-temporal (tolerancias temporales y radios de proximidad), la trazabilidad de metadatos y la reproducibilidad del flujo, con vistas a facilitar la integración de los recortes en entrenamientos de modelos de clasificación basados en CNN. También se discuten limitaciones (dependencia de SNAP y disponibilidad de AIS, desajustes espacio-temporales) y recomendaciones para una evaluación cuantitativa del emparejamiento.

**Palabras claves:** SAR, Sentinel-1, AIS, dataset, automatización, detección embarcaciones

## 1. Introducción

La creciente disponibilidad de imágenes SAR [1] (p. ej. Sentinel-1) y registros AIS crea oportunidades para vigilancia marítima y para construir datasets útiles en aprendizaje automático. No obstante, convertir estos datos en ejemplos de calidad requiere pipelines reproducibles que automaticen descarga, preprocesado, detección y emparejamiento con fuentes auxiliares, reduciendo la intervención manual y asegurando trazabilidad.

Las principales dificultades prácticas son: el speckle y la necesidad de preprocesado en imágenes SAR; desajustes espacio-temporales entre escenas y registros AIS; y la heterogeneidad de formatos (escenas Sentinel-1, ficheros AIS, outputs de SNAP). Por ello, se propone un pipeline que integra descarga/organización, detección con SNAP, recorte automático de parches (100×100 px), filtrado espacial/temporal de AIS, emparejamiento configurable y almacenamiento estructurado de metadatos.

## 2. Conocimientos Teóricos

El marco teórico proporciona los fundamentos conceptuales que sustentan la construcción del pipeline automatizado y orienta la interpretación de los resultados. En esta sección se abordan los principios de la teledetección, con especial énfasis en el radar de apertura sintética (SAR), y se detallan las características particulares de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



este tipo de imágenes en aplicaciones marítimas. Asimismo, se describe el funcionamiento del sistema AIS como fuente auxiliar de información y se introducen los criterios de emparejamiento espacio-temporal y de evaluación que permiten vincular detecciones en imágenes SAR con registros AIS. De este modo, el marco teórico establece el contexto necesario para comprender las decisiones técnicas adoptadas en el desarrollo y la implementación del pipeline.

### 2.1 Teledetección

La teledetección [2] es la obtención de información sobre un objeto desde una distancia, mediante la utilización de diferentes sensores dependiendo de la aplicación que se requiera. La interacción entre la señal emitida y la tierra, o las señales recibidas, generan una serie de datos que luego son interpretables y procesables.

### 2.2 SAR e Imágenes SAR

SAR es un tipo de teledetección, que consiste en la emisión de pulsos de radar hacia la superficie terrestre y registrando cuando estos regresan, sin importar la condición meteorológica y climática. El radar solo puede medir la parte del eco reflejada en la dirección de la antena, a esto se lo conoce como retrodispersión. Este fenómeno va a depender de ciertas características, como la forma, tamaño, densidad, y propiedades físicas de los objetos, esto nos permite la formación de imágenes detalladas del entorno.
Las imágenes SAR son producidas por los pulsos recibidos de la superficie terrestre. Estas imagenes a primera vista parecen en blanco y negro, y poseen un speckle o moteado inherente. Tanto este speckle como los errores de desplazamiento de las figuras pueden ser reducidos por una serie de filtros y procedimientos. Al ser en blanco y negro, nos permite aplicar facilmente herramientas de inteligencia artificial, como redes convolucionales, para su analisis y clasificacion de objetos.
Nuestra principal fuente de imágenes SAR, es el satélite Sentinel-1A, primer satélite de la misión Sentinel-1 [3] del programa europeo Copernicus, lanzado en 2014. Este puede hacer observaciones a la Tierra a través de un radar de apertura sintética (SAR) de banda C, que es ideal por su frecuencia y longitud de onda para la aplicación de imágenes de océanos [4].

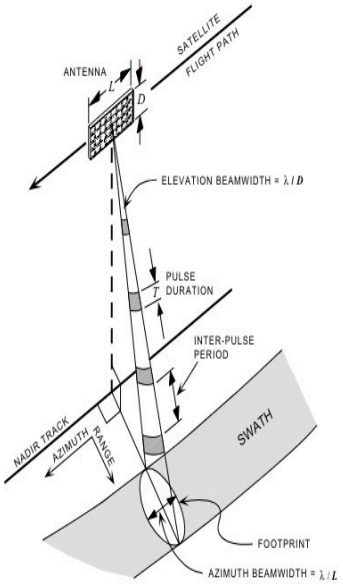



**Figura 1.** Esquema de un radar de apertura sintética (SAR) en un satélite. La antena emite pulsos, y el ancho del haz en elevación (λ/A) y acimut (λ/L) define la resolución. Swath de color distinto es la zona que recorre el satelite. Lo blanco en medio del swath, es el sector que se está observando.

### 2.3 AIS (Automatic Identification System)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



AIS es un sistema de seguimiento de corto alcance que fue desarrollado para proporcionar información de identificación y posicionamiento tanto a buques como a estaciones costeras. Se trata de un sistema digital de conocimiento de la posición que opera en la banda marítima de muy alta frecuencia. Su propósito es ayudar a identificar buques, asistir en el seguimiento de objetivos, asistir en operaciones de búsqueda y rescate, simplificar el intercambio de información y proporcionar información adicional para asistir en el conocimiento de la situación. Datos que transmite:

- Datos estáticos: Referidos a número MMSI (Maritime Mobile Service Identity), número de OMI [6] (Organización Marítima Internacional), nombre y señal de llamada, Eslora, tipo de buque, ubicación de la antena de posicionamiento.
- Datos dinámicos: Posición del buque con indicación de precisión, marca temporal de posición, rumbo efectivo.

## 3. Presentación de la solución

El pipeline propuesto automatiza de manera integrada todas las etapas necesarias para transformar escenas Sentinel-1A y ficheros AIS para el entrenamiento de estos datos que se guardan en el dataset de todas las embarcaciones. Para ello, el sistema comienza organizando las escenas y extrayendo metadatos temporales y espaciales desde los nombres de archivo y los ficheros de metadatos asociados. A partir de esa información se orquesta la descarga de los archivos AIS correspondientes a las ventanas temporales de interés y se prepara la escena para su procesamiento automático.

### 3.1 Descarga y organización

La primera etapa es la de descarga y almacenamiento de la nueva zona de expansión de la base de datos, una vez que se dispone de esos archivos, se pasa por una herramienta de localización de barcos que tiene SNAP (software programado en Java que hace uso de aplicaciones satelitales) para detectar barcos en las imágenes satelitales seleccionadas.

### 3.2. Detección con SNAP

Dentro de todos los archivos que se descargan mediante el script que nos proporciona ASF (Alaska Satellite Facility), luego se utiliza una herramienta que tiene el software SNAP que genera solamente en las imágenes que encuentra los embarcaciones, archivos CSV con el nombre de “ShipDetections.csv” por lo que el script debe buscar solamente en las carpetas que se haya generado este csv donde contiene las coordenadas de las detecciones en coordenadas de imagen. El script verifica la presencia de ese fichero y, en caso de generar salidas, las normaliza para su posterior uso por los módulos de recorte y georreferenciación.

### 3.3 Recortes de parches

Con las coordenadas de detección normalizadas, el sistema realiza recortes centrados de 100×100 píxeles sobre la imagen SAR original, asegurando que cada parche conserva metadatos que permiten rastrear la escena origen, la hora de adquisición y la posición en la imagen. Cada parche se guarda con un identificador

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



único y una entrada en el CSV maestro que incluye campos esenciales (fecha, hora, escena, coordenadas, tamaño del parche y referencia al fichero AIS asociado, si hubiera).

### 3.4 Emparejamiento AIS

Una vez obtenidas las imágenes de cada embarcación recortada se realiza una búsqueda del AIS, que es un sistema de comunicación y seguimiento marítimo que transmite información sobre una embarcación. Primero se filtran los registros AIS por ventana temporal y por límites espaciales, reduciendo el conjunto candidato. Los ficheros de las imágenes satelitales descargadas tienen cierto patrón, por ejemplo: 20200105T001606 que se refiere a Año, mes y día, por otro lado, segundos ,minutos y hora. La automatización debe de extraer esta información para buscar en la página oficial de NOAA Office [8] y descargarla según año, mes y día. Cuando ya se descarga, se debe de subir a la base de datos, pero se pueden dar dos condiciones excluyentes para la subida de los datos.

- Si coinciden los datos que tenemos guardados de fecha, hora, longitud y latitud con los datos descargados del AIS, debemos guardar todos los datos proveídos por esta entidad en la base de datos como la longitud y ancho de la embarcación, el nombre, el tipo de barco, entre otros.
- Si no coinciden los datos guardados de fecha, hora, longitud y latitud no se guarda ninguno de los datos del AIS y se deja con la información proveída por SNAP.

## 4 Script de ordenamiento

El proceso de filtrado es igual de importante que el de búsqueda. Se realizará un script en Python, que nos permita descargar un archivo, extraer los datos AIS y procesarlo según filtros. Este script se podrá extrapolar a distintas zonas geográficas, combinar con modelos de detección de embarcaciones basados en imágenes satelitales, y adaptar según la fuente de que se quieran obtener los datos

### 4.1 Descarga de datos

Se comienza por determinar la fuente de donde se obtendrá la información, en este caso desde la ONAA. Se establece la fecha de interés y la carpeta donde se guardará el archivo descargado, que debe tener el formato “AIS_fechaSeleccionada.zip”, y se verifica su disponibilidad en la página. Si la respuesta es positiva, se procede con la descarga. Con el uso de la librería *zipfile* [9], se extrae el archivo y se obtiene un archivo .csv con los datos AIS de la fecha seleccionada

### 4.2 Filtrado de datos

Con el archivo descargado, se procede con el filtrado espacial y temporal. Primero, se seleccionan la latitud, la longitud y el rango horario de la zona de interés para los datos AIS. Luego, con la librería *pandas* [10] de Python, se crea un *dataframe* del archivo anterior y se filtra según los parámetros establecidos previamente. Con ello, se genera un archivo .csv con los datos de esta zona filtrados. En este caso, el objetivo es obtener un archivo con todos los datos AIS de la zona del Golfo de México.

### 4.3 Almacenamiento de datos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Una vez obtenidos los datos AIS del golfo de México, se procede con el filtro espacial y temporal. Se selecciona la hora y de qué latitud y longitud dentro de la zona seleccionada previamente, se requiere la información. Luego de aplicar este filtro, se procede a seleccionar qué columnas son relevantes mantener. Con esto, ya se tiene el archivo .csv de imágenes procesadas y filtradas por espacio y tiempo.

En pseudo código se puede ver como:

**Algorithm 1:** Filtrado de datos AIS por zona y horario

**Input:** fecha_seleccionada,
zona_geográfica (lat_min, lat_max, lon_min, lon_max),
subzona (lat_objetivo, lon_objetivo),
rango_horario (hora_objetivo ± margen_tiempo),
margen_espacio,
columnas_interes (MMSI, BaseDateTime, lat, lon, VesselName, IMO CallSign)
**Output:** archivo_csv_filtrado

```
Ingresar URL de descarga con fecha_seleccionada;
Verificar disponibilidad del archivo en la fuente;
if archivo disponible then
    Descargar archivo ZIP;
    Extraer archivo CSV del ZIP usando librerías;
    Filtrar por zona_geográfica (latitud y longitud dentro de los límites
    Generar nuevo archivo CSV con datos de la zona seleccionada;
    Inicializar dataframe df desde el archivo CSV filtrado;
    Filtrar df según las siguientes condiciones:;
        - BaseDateTime dentro de [hora_objetivo ± margen_tiempo]
        - LAT dentro de [lat_objetivo ± margen_espacio];
        - LON dentro de [lon_objetivo ± margen_espacio];
    Guardar resultado en df_filtrado;
    Extraer columnas_interes de df_filtrado;
    Guardar df_filtrado en archivo CSV final;
else
    Mostrar mensaje de error: "Archivo no disponible para la fecha
     seleccionada";
```

**Figura 2.** Pseudo código que representa el flujo de funcionamiento del script de ordenamiento y filtrado de datos AIS.

## Resultados

## Conclusiones y trabajo futuro

El presente trabajo describió la automatización de la descarga, filtrado y ordenamiento de imágenes SAR de embarcaciones y su emparejamiento con registros AIS mediante scripts que integran SNAP, procesamiento por CSV y filtrado espacial/temporal. El aporte principal es una solución reproducible y orientada a la eficiencia operativa del pipeline (recortes automáticos 100×100 px, extracción y filtrado AIS), que facilita la construcción de un dataset expandido para entrenamiento de modelos.

No obstante, el estudio presenta limitaciones claras: dependencia de SNAP y del acceso a AIS de NOAA, y riesgos técnicos como desajustes espacio temporales en el emparejamiento AIS.

Estas automatizaciones, se proponen para qué pueda usarse en todos los casos nuevos, como una extensión de la base de datos y que no se deba hacer un proceso particular por cada extensión.

El objetivo de toda esta automatización es que en un proceso futuro, se entrena una red convolucional (CNN) que use todas las imágenes de navíos almacenadas y etiquetadas para la detección automática de embarcaciones.

**Agradecimientos**

Se desea agradecer a la European Space Agency (ESA) por brindar las imágenes del SENTINEL-1 y por el software SNAP 3.0.

Asimismo se agradece al Distributed Active Archive Center of the Alaska Satellite Facility por darnos permiso para investigar con el conjunto de datos de imágenes (ESDIS, 2019) aquí evaluado.

## Referencias

[1] Synthetic Aperture Radar (SAR) https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/sar
[2] Erika Podest "Fundamentals of Remote Sensing" in NASA ARSET course.
[3] The European Space Agency (ESA), "Introduction Sentinel-1" in https://www.esa.int/Applications/Observing

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing_Sentinel-1

[4] Erika Podest, “Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética” in NASA ARSET Course.

[5] NATO ”AIS overview” in https://shipping.nato.int/nsc/operations/news/2021/ais-automatic-identification-system-overview .

[6] International Maritime Organization https://www.imo.org/

[7] K. Nemer P., “Identificación de buques pesqueros en imágenes satelitales sar utilizando redes neuronales convolucionales,” in MACI Vol. 9, vol. 9, pp. 481–484, 2023

[8] NOAA Office for Coastal Management, “AIS Data Handler” in https://coast.noaa.gov/htdata/CMSP/AISDataHandler/2021/index.html

[9] Libreria zipfile https://docs.python.org/3/library/zipfile.html

[10] Libreria pandas de python https://pandas.pydata.org/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Impacto de las estrategias de razonamiento y los hiperparámetros de decodificación en la resolución de algoritmos con LLMs

**Matías Adolfo Koroch**
*Laboratorio de Investigación de Software*
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información
Facultad Regional Córdoba - Universidad Tecnológica Nacional

**Resumen**

*Este trabajo presenta un banco de pruebas automatizado para evaluar la capacidad de modelos de lenguaje de gran tamaño (LLMs) en la resolución de problemas algorítmicos bajo modalidad zero-shot. Utilizando una muestra compuesta por 113 problemas provenientes de LeetCode, clasificados según dificultad (fácil, medio, difícil) y temas asociados (Math, String, Dynamic Programming, entre otros), se analizaron los modelos* `Gemini-2.0-Flash` *y* `Gemini-2.0-Flash-Thinking` *(Google), y* `GPT-o1-mini` *(OpenAI). En la serie Gemini, la variante Thinking expone un* proceso de pensamiento *documentado por Google; en la familia* `o1`*, OpenAI describe el uso de chain-of-thought. Se ejecutaron diversas configuraciones de hiperparámetros para evaluar el impacto del comportamiento determinista versus estocástico en la generación de soluciones. Los resultados muestran diferencias significativas según la configuración aplicada, destacándose un mejor rendimiento bajo configuraciones estocásticas y una reducción en la precisión conforme aumenta la complejidad de los problemas evaluados.*

**Palabras clave**

LLMs, Resolución de algoritmos, Hiperparámetros, Evaluación *zero-shot*, Generación automática de código

## 1. Introducción

En los últimos años, los modelos de lenguaje de gran tamaño (LLMs, *Large Language Models*) han transformado significativamente la manera en que se resuelven diversas tareas computacionales, permitiendo automatizar la generación de código en tareas que requieren razonamiento lógico. La inteligencia artificial generativa ha mostrado avances importantes, especialmente en tareas relacionadas con las ciencias de la computación y matemáticas.

En este trabajo se propone un enfoque sistemático basado en un banco de pruebas automatizado, diseñado para evaluar empíricamente el impacto de las estrategias de razonamiento y los hiperparámetros de decodificación [1] para resolver mediante código problemas algorítmicos. Los hiperparámetros de decodificación utilizados: *temperatura*, que controlan la aleatoriedad en la selección de los tokens generados (con valores más altos generando respuestas más diversas); el $top\_p$ (o nucleus sampling), que limita los tokens seleccionables a aquellos cuya probabilidad acumulativa supera un umbral mínimo definido; y el $top\_k$, que restringe la selección únicamente a los $k$ tokens más probables. El pipeline computacional desarrollado extrae problemas del corpus de LeetCode [1], genera soluciones mediante los LLMs seleccionados bajo estas diferentes configuraciones, ejecuta el código generado y evalúa el resultado del código obtenido.

Este estudio tiene como objetivos específicos:

- Desarrollar un método reproducible y sistemático para evaluar estrategias de razonamiento LLMs y sus configuraciones de hiperparámetros en tareas algorítmicas.
- Identificar patrones o características estructurales de los problemas que influyen en la capacidad resolutiva de los

[1] Valores de configuración que controlan el comportamiento del LLM en el proceso de inferencia

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



modelos.

- Generar un set con soluciones propuestas por los LLMs

**Contribuciones.** Los resultados obtenidos permiten identificar el impacto que tienen los ajustes de hiperparámetros en las estrategias de razonamiento, y cómo impacta la complejidad temática y la carga de múltiples temas en un problema en el rendimiento de las soluciones generadas por cada modelo y configuración.

## 2. Metodología

### 2.1. Selección del conjunto de problemas

La selección de los problemas utilizados en este estudio se realizó a partir de la plataforma LeetCode, reconocida por su repositorio de problemas algorítmicos empleados en la práctica y evaluación de habilidades de programación. Esta plataforma se ha empleado en diversas investigaciones recientes, incluyendo trabajos como los de Hou y Ji [2], Wang et al. [3], Zhang et al. [4] y Zhu et al. [5], donde se usan problemas de la plataforma para analizar las capacidades de los LLMs.

La plataforma clasifica los problemas según dificultad (Fácil, Mediano, Difícil) y etiquetas temáticas (e.g., *Math*, *String*, *Dynamic Programming*), lo que permite un análisis segmentado y preciso. Para esta evaluación, se extrajo un subconjunto del corpus (1 825 problemas) mediante muestreo estratificado con asignación de Neyman, tomando como estratos los niveles de dificultad (*Fácil*, *Mediano*, *Difícil*). En este esquema, el tamaño muestral por estrato se determina como:

$$n_h \;=\; n \cdot \frac{N_h\, S_h}{\sum_j N_j\, S_j},$$

donde $N_h$ es el tamaño del estrato y $S_h$ una medida de su variabilidad. En nuestro caso, se empleó una aproximación discreta $S_h \in \{1{,}0,\ 2{,}0,\ 3{,}0\}$ para (*Fácil*, *Mediano*, *Difícil*), respectivamente, bajo la hipótesis de que los problemas más difíciles presentan mayor heterogeneidad y, por ende, mayor varianza esperada en la tasa de aciertos. Esta decisión incrementa la eficiencia del muestreo al priorizar estratos más variables, en comparación con la asignación proporcional.

Esta definición de estratos responde a dos motivos principales:

(I) La dificultad constituye una variable crítica en la evaluación de modelos, ya que refleja el nivel de complejidad y la cantidad de pasos lógicos requeridos, influyendo directamente en la tasa de éxito de los LLMs.

(II) El uso de estratos basados en dificultad permite mantener la representación de problemas simples, intermedios y complejos en la muestra, evitando sesgos hacia tareas de menor exigencia y posibilitando una comparación equilibrada del desempeño entre configuraciones y modelos.

La muestra final estuvo compuesta por ($n = 113$) problemas, donde la asignación resultante fue: *Fácil* = 26, *Mediano* = 66, *Difícil* = 21. El código utilizado para la extracción y los problemas se encuentra disponible en el repositorio [6].

## 3. Modelos y configuraciones

Los modelos considerados en esta evaluación fueron seleccionados atendiendo a criterios de accesibilidad mediante API, capacidad de razonamiento declarada por sus desarrolladores y relevancia para tareas algorítmicas en STEM. En particular, se analizaron tres modelos:

- **Gemini-2.0-Flash (Google).** Forma parte de la familia Gemini 2.0, diseñada para ofrecer alta velocidad y bajas latencias en tareas multimodales, produce respuestas, en nuestro caso sin exponer razonamientos intermedios. [7]
- **Gemini-2.0-Flash-Thinking (Google).** Variante de la familia Gemini 2.0 descrita como *thinking model*: emplea un

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*proceso de pensamiento interno* para reforzar el razonamiento multi-paso y la planificación. [8]

- **GPT-o1-mini (OpenAI).** Integrante de la familia `o1`, presentados como *modelos de razonamiento*.[9]

De los tres modelos (hasta donde sabemos), no han utilizado directamente la plataforma LeetCode para su entrenamiento; sin embargo, sí fueron entrenados sobre extensos corpus extraídos de la "web pública", en los cuales está la posibilidad de que hayan aparecido problemas provenientes de dicha plataforma.

Los modelos de Google fueron seleccionados por su accesibilidad, su rapidez de respuesta y capacidad demostrada en generación de código automático. El modelo de OpenAI fue incluido debido a su optimización para tareas que requieren nivel de razonamiento lógico, siendo uno de los modelos compactos más avanzados y accesibles de OpenAI [10] en el momento del estudio. En este estudio, ambas familias se evaluaron en *zero-shot* y con *single-sample decoding* (sin *self-consistency* [11]).

Cabe destacar que los modelos utilizados son aquellos que cumplen la función de *chat*. Esta decisión se tomó para evaluar el desempeño de los modelos tal como están disponibles para los usuarios estándar.

Con el objetivo de estudiar el efecto de la aleatoriedad en la generación(ver Tabla 1), aplicamos *dos regímenes de decodificación* únicamente donde la API lo permitía. Estas configuraciones fueron fijadas por el investigador y se mantuvieron constantes en toda la evaluación.

**Justificación.** La comparación entre regímenes permite aislar el efecto de la exploración estocástica en el rendimiento: la configuración determinista aproxima una política "greedy" (baja entropía), mientras que la configuración estocástica incrementa la diversidad de trayectorias de generación. Este diseño es coherente con estudios que analizan temperatura, *nucleus sampling* y top-k como controladores del equilibrio entre calidad y diversidad en LLMs, y con trabajos que evalúan el impacto de promediar o no múltiples trayectorias (*self-consistency*).

Tabla 1: Hiperparámetros de decodificación (*diseño experimental*).

| Modelo | Régimen | Temperatura | top-p | top-k |
|---|---|---|---|---|
| Gemini-2.0-Flash | Determinista | 0.0 | 0.05 | 10 |
| Gemini-2.0-Flash | Estocástico | 1.0 | 0.95 | 100 |
| Gemini-2.0-Flash-Thinking | Determinista | 0.0 | 0.05 | 10 |
| Gemini-2.0-Flash-Thinking | Estocástico | 1.0 | 0.95 | 100 |
| GPT-o1-mini | (único) | n/a | n/a | n/a |

*Notas.* (i) Las configuraciones "Determinista/Estocástica" son *intervenciones experimentales* sobre la decodificación; (ii) Se fijó la temperatura a un valor máximo de 1, ya que pruebas preliminares demostra- ron que temperaturas superiores provocaban respuestas incorrectas recurrentes en los modelos Gemini; (iii) En `GPT-o1-mini`, los parámetros de decodificación no fueron posibles de modificar mediante la API provista.

### 3.1. Diseño del *prompt*

Se utilizó un *template* (Figura 1) estandarizado para todos los problemas seleccionados, cuyo objetivo fue instruir claramente al modelo en la generación de una solución en Python. El *prompt* especificaba que, para cada caso de prueba proporcionado, el código generado debía devolver `True` si la solución era correcta o `False` en caso contrario.

Cada *prompt* fue enviado a los distintos modelos a través de las librerías `google.generativeai` y `openai`, según correspondía en cada caso. Estos se enviaron sin el historial de conversación para evitar sesgos y asegurar la modalidad *zero-shot*. La métrica principal de evaluación se definió como el porcentaje de casos de prueba que cada solución generada por los modelos resolvió correctamente.

$$\text{Precisión (\%)} = \frac{\text{True}}{\text{True} + \text{False}} \times 100$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



```python
# Plantilla del prompt
def generar_prompt(description: str) -> str:
    return (
        "Resuelve el siguiente problema en Python. La solución debe implementar una función que, "
        "dado(s) input(s) especificado(s) en el problema, compare su output con el output esperado y "
        "ejecute dichos tests. La función debe imprimir 'True' por cada test que pase y 'False' por cada "
        "test que falle, y finalmente imprimir la cantidad de tests correctos sobre el total.\n\n"
        "Proporciona únicamente código Python ejecutable.\n\n"
        f"{description}"
    )
```

Figura 1: *Código en Python que permite usar el template, donde en description se colocaron los distintos problemas.*

### 3.2. Implementación del banco de pruebas

Para realizar las evaluaciones, se desarrolló un programa automatizado en IPython [2].

El programa emplea como base un corpus de Kaggle [12] que proporciona descripciones detalladas de cada problema, así como ejemplos concretos de entradas y salidas esperadas. La muestra estratificada seleccionada es almacenada en un archivo llamado `sample_selected.csv`.

El programa genera una solución en Python usando el modelo seleccionado y guarda dicha solución en un archivo que es almacenado y se encuentra disponible en el repositorio mencionado. Este archivo se ejecuta automáticamente mediante el módulo `subprocess`, estableciendo un límite máximo para prevenir ejecuciones indefinidas.

Durante la ejecución del código generado, se registran diversas métricas, incluyendo el número de pruebas pasadas y fallidas, el tiempo total de ejecución, el uso máximo de memoria y una estimación aproximada de la complejidad del código basada en la cantidad de estructuras condicionales y bucles utilizados.

Este procedimiento fue aplicado consistentemente a todos los modelos evaluados. El programa automatizado, los códigos generados, los resultados intermedios y las métricas obtenidas son *open source* y se encuentran disponibles públicamente en el repositorio de GitHub mencionado [6].

[2] `https://ipython.org/documentation.html`

## 4. Resultados

Los resultados obtenidos fueron registrados en archivos CSV individuales para cada modelo y configuración, posteriormente centralizados en una hoja de cálculo para facilitar su análisis. A partir de estos datos, se usó la métrica de precisión para cada modelo y configuración, las cuales fueron visualizadas mediante gráficos.

El análisis reveló que el modelo `Gemini-2.0-Flash` en configuración estocástica logró la mayor precisión promedio (∼0.82), superando notablemente en ∼10 puntos porcentuales a su contraparte determinista (∼0.72) (Figura 2). Esta diferencia subraya el impacto crucial de los hiperparámetros en la calidad de generación de código, destacando el rendimiento superior de los modelos en configuraciones estocásticas bajo condiciones *zero-shot*. También se nota una diferencia en el modelo `Gemini-2.0-Flash-thinking` de ∼4 puntos porcentuales en relación a la configuración determinista con su contraparte estocástica.

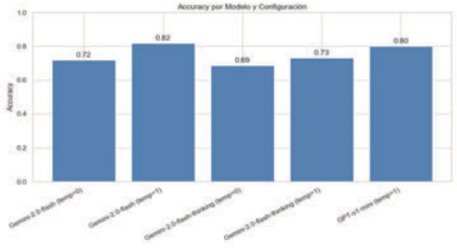



Figura 2: Precisión promedio obtenida por los modelos según configuración determinista o estocástica.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Como muestra el mapa de calor (Anexo I, Figura 3), se construyó una visualización matricial que permite analizar la interacción entre los temas algorítmicos y las configuraciones de modelo evaluadas. Para ello, cada problema se vinculó a uno o varios tópicos de LeetCode (e.g., *Array*, *Dynamic Programming*, *String*), asignando un peso proporcional $w = 1/k$ en caso de múltiples etiquetas ($k$ = número de tópicos asociados). Este procedimiento asegura que la contribución total de cada problema no se duplique al estar clasificado en más de una categoría. Posteriormente, los aciertos y totales de cada problema se agregaron mediante un promedio micro-ponderado, lo que permite que problemas con mayor número de casos de prueba tengan una incidencia proporcional en la estimación.

Con este esquema, cada celda del heatmap corresponde a la precisión promedio de un modelo bajo una configuración específica de hiperparámetros (determinista o estocástica) en un tema concreto. Adicionalmente, se calcularon intervalos de confianza del 95 % utilizando el método de Wilson, y se enmascararon aquellas celdas cuyo número efectivo de casos fue inferior a un umbral mínimo ($n_{\text{mín}} = 10$). De este modo, la figura sintetiza no solo las diferencias de rendimiento entre modelos, sino también la robustez estadística de las estimaciones.

El análisis revela diferencias claras entre los modelos. `GPT-o1-mini`, que en nuestro marco experimental no permitió modificar hiperparámetros de decodificación, mantiene un rendimiento competitivo en problemas dominados por patrones estructurales simples (e.g., *Arrays*, *Trees*, *Hash Tables*). En contraste, las variantes de `Gemini-2.0-Flash` exhiben una marcada sensibilidad a la configuración de muestreo: la versión estocástica supera consistentemente a la determinista, lo que sugiere que la exploración controlada incrementa la probabilidad de converger hacia trayectorias de código correctas, incluso sin aplicar técnicas de *self-consistency* [11].

La variante `Gemini-2.0-Flash-Thinking` presenta un patrón diferente: alcanza sus mejores resultados bajo configuraciones deterministas y muestra una caída cuando se incrementa la aleatoriedad. Este comportamiento es compatible con la hipótesis de *ruido* en el razonamiento intermedio: desviaciones tempranas en la explicación comprometen la coherencia del código final. En este contexto, la estocasticidad puede beneficiar a modelos que generan código de forma directa; sin embargo, cuando se expone razonamiento paso a paso (thinking), la diversidad inducida por el muestreo incrementa la varianza de trayectorias y favorece la propagación de errores, efecto acentuado bajo single-sample decoding (sin self-consistency).

En conjunto, el mapa de calor (Anexo I, Figura 3) evidencia que el impacto de las estrategias de razonamiento no es homogéneo: en la serie Gemini, el *thinking* interactúa con la decodificación de modo distinto que el *chain-of-thought* descrito por OpenAI para la familia `o1`. Esta interacción con los hiperparámetros explica por qué ciertas configuraciones estocásticas generan mejoras sustanciales en algunos modelos, mientras que otras requieren determinismo estricto para mantener la estabilidad del proceso de generación.

Complementariamente, la Figura 4 del Anexo I muestra la relación entre el número de tópicos asociados a cada problema y la precisión promedio de los modelos, que permite analizar el efecto de la complejidad temática en el rendimiento de los LLMs. La construcción de esta figura combinó dos componentes: (i) la distribución de la muestra según el número de tópicos por problema, representada en barras grises (eje izquierdo), y (ii) la precisión promedio de cada configuración de modelo, calculada mediante micro-promedios ponderados y representada en líneas de colores (eje derecho). El uso de micro-promedios responde a la necesidad de otorgar a cada problema un pe-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



so proporcional a la cantidad de casos de prueba disponibles, evitando sesgos que podrían surgir en promedios simples. Además, en problemas con múltiples tópicos, se aplicó un factor de corrección $w = 1/k$ (con $k$ el número de etiquetas) para distribuir equitativamente su contribución y evitar la doble contabilización. De este modo, cada instancia conserva el mismo peso global en las métricas agregadas, garantizando la validez estadística y la comparabilidad con los resultados presentados en el mapa de calor al mantener consistencia metodológica.

La figura revela que la mayoría de los problemas en la muestra recaen en los rangos de baja a media complejidad temática (1–3 tópicos), mientras que son escasos los casos con 0, 4 o más etiquetas. En este rango central (0–2 tópicos), todos los modelos mantienen niveles de precisión altos, típicamente entre 0.75 y 0.90, aunque con diferencias sistemáticas: el modelo `o1-mini-noDet` presenta los valores más elevados en los problemas con menor carga temática, lo que indica una mayor eficiencia en escenarios de complejidad estructural reducida.

A partir de 3 tópicos se observa una divergencia en los comportamientos. Mientras que las configuraciones `Gemini-2.0-Flash` (determinista y estocástica) y `Gemini-2.0-Flash-thinking-noDet` muestran un aumento moderado en la precisión, los modelos `o1-mini-noDet` y `Gemini-2.0-Flash-thinking-det` evidencian una caída en la tasa de resolución exitosa. Este patrón sugiere que, en problemas donde convergen múltiples dimensiones temáticas, los mecanismos de exploración estocástica y de razonamiento intermedio pueden aportar ventajas selectivas, mientras que los enfoques deterministas o más compactos tienden a degradar su rendimiento. Finalmente, en problemas con 4 o más tópicos, el desempeño se mantiene o aumenta `Gemini-2.0-Flash-det` y `Gemini-2.0-Flash-thinking-Det` muestran un aumento en la precisión superando a `Gemini-2.0-Flash-noSet` y `Gemini-2.0-Flash-thinking-noDet` que también muestran un aumento o se mantienen en nivel de precisión, mientras que el modelo `o1-mini-noDet` evidencia un leve decremento. Por lo que se nota que los modelos Gemini con configuración determinista tuvieron un mejor desempeño a comparación con los estocásticos, cosa que no venía pasando cuando era menor a 3 temas , aunque el reducido número de observaciones en este grupo limita la fuerza de las conclusiones.

En conjunto, los resultados muestran que la complejidad medida en términos de número de tópicos se relaciona negativamente con la precisión promedio, un efecto ya señalado en estudios previos sobre cadenas de razonamiento y sobrecarga cognitiva en LLMs [13]. Este hallazgo refuerza la idea de que, si bien los modelos actuales son capaces de manejar con éxito problemas de baja a mediana complejidad, su desempeño aún es vulnerable a la interacción entre múltiples etiquetas temáticas, especialmente cuando no se aplica un control cuidadoso de los hiperparámetros de decodificación.

## 5. Conclusión y Trabajos Futuros

Este trabajo analizó cómo la combinación de hiperparámetros de decodificación y estrategias de razonamiento incide en la resolución algorítmica con LLMs. Los resultados muestran que, mientras `Gemini-2.0-Flash` se beneficia de configuraciones estocásticas al explorar múltiples trayectorias de código, la variante `Flash-Thinking` se ve afectada negativamente bajo estas condiciones, ya que la aleatoriedad tiende a introducir ruido en las etapas iniciales del razonamiento intermedio. Dicho ruido temprano se propaga a lo largo de la cadena lógica y compromete la coherencia del programa final, lo que explica por qué configuraciones deterministas ofrecen mayor estabilidad en modelos con CoT.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En contraste, `GPT-o1-mini` mantuvo un desempeño competitivo en problemas de baja complejidad, pero su precisión disminuyó a medida que aumentó la carga temática, revelando vulnerabilidad frente a escenarios con múltiples dimensiones estructurales. Este hallazgo sugiere que la fase en la que se introduce la estocasticidad es determinante: en modelos que generan código directamente, la diversidad se concentra en la implementación final y puede mejorar las chances de éxito; en modelos con razonamiento explícito, la aleatoriedad impacta desde el inicio de la cadena lógica, amplificando errores. Como líneas futuras, se propone:

- Investigar técnicas para controlar selectivamente la estocasticidad según la fase de generación (razonamiento vs. código).
- Explorar métodos de self-consistency y muestreo múltiple que mitiguen la propagación de errores en modelos con CoT.
- Profundizar el análisis incorporando la dificultad y la complejidad temática de los problemas, con el fin de anticipar qué configuraciones son más adecuadas en cada escenario.

En conjunto, este trabajo no solo ofrece evidencia empírica sobre el efecto de los hiperparámetros en distintos LLMs, sino que también plantea una hipótesis sobre dónde y cómo se induce el ruido, aportando un marco para investigaciones que busquen optimizar la interacción entre decodificación y razonamiento en modelos.

## Referencias

[1] Yan Wang Jason Klein Liu Huifeng Sun Siyue Wu Jian Hu Xiaolong Xu Yunhui Xia, Wei Shen. Leetcodedataset: A temporal dataset for robust evaluation and efficient training of code llms. *arXiv preprint arXiv:2504.14655*, 2025.

[2] W. Hou and Z. Ji. Comparing large language models and human programmers for generating programming code. *arXiv*, 2024. URL `https://arxiv.org/abs/2403,00894`.

[3] L. Wang, C. Shi, S. Du, Y. Tao, Y. Shen, H. Zhang, and X. Qiu. Performance review on llm for solving leetcode problems. *arXiv*, 2025. URL `https://arxiv.org/abs/2502,15770`.

[4] Y. Zhang, X. Wang, B. Shi, X. V. Lin, S. Sundararaman, J. V. Deshmukh, and V. Murali. A performance study of llm-generated code on leetcode. *arXiv*, 2024. URL `https://arxiv.org/abs/2403,09374`.

[5] L. Zhu, Y. Li, K. Wang, J. Zhou, S. Li, Z. He, B. Liu, Y. Zheng, H. Bai, J. He, et al. Deepseek-coder-v2: Breaking the barrier of closed-source models in code intelligence. *arXiv*, 2024. URL `https://arxiv.org/abs/2403,1718`.

[6] Matías Koroch. Transformers: Evaluación de llms en resolución de algoritmos, 2025. GitHub. Disponible en: `https://github.com/matiask400/Transformers`.

[7] Gemini 2.0 flash model card. Technical report, Google, 2025. URL `https://storage.googleapis.com/model-cards/documents/gemini-2-flash.pdf`. Accessed: 2025-09-03.

[8] Google. Gemini release notes. `https://gemini.google/release-notes/?hl=es`, 2025. Accessed: 2025-09-03.

[9] OpenAI. Openai o1 mini: Advancing cost-efficient reasoning, 2023. `https://openai.com/index/openai-o1-mini-advancing-cost-efficient-reasoning/`.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[10] OpenAI. Learning to reason with language models, 2023. https://openai.com/index/learning-to-reason-with-llms/.

[11] Dale Schuurmans Quoc Le Ed Chi Sharan Narang Aakanksha Chowdhery Denny Zhou Xuezhi Wang, Jason Wei. Self-consistency improves chain of thought reasoning in language models. *arXiv preprint arXiv:2203.11171*, 2022.

[12] Kaggle. Leetcode problem dataset version 1, n.d. https://www.kaggle.com/datasets/gzipchrist/leetcode-problem-dataset.

[13] Wei Liu and Rachel Thompson. Mind your step: When chain-of-thought overthinks and underperforms. *Transactions on Machine Learning Research*, 2(4):201–219, 2024.

**Datos de Contacto:**
*Matías Adolfo Koroch.*
*Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional.*
*Código Postal: 5001*
*Correo: mkorochresk@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Anexo I

### Figuras auxiliares

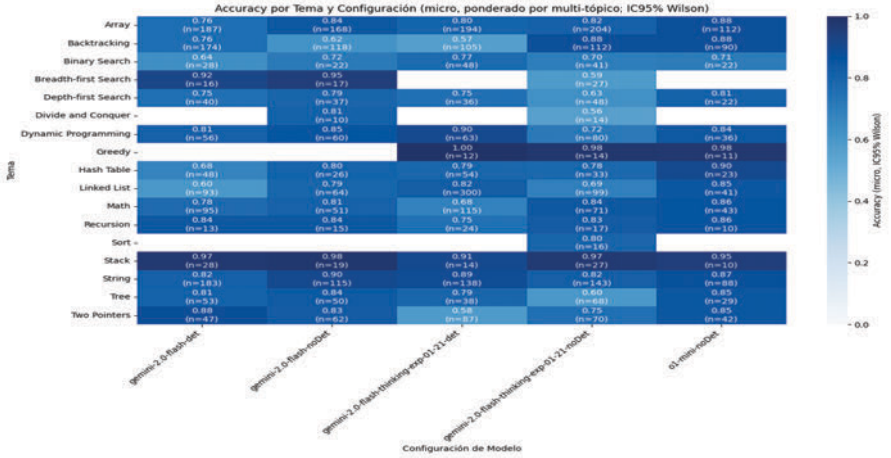



Figura 3: Mapa de calor del rendimiento promedio de los modelos evaluados según temas algorítmicos.

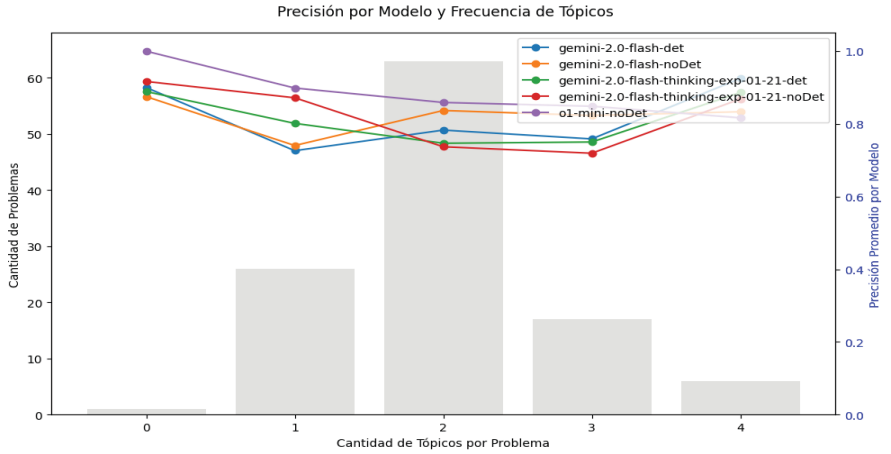



Figura 4: Variación de la precisión promedio de los modelos en función de la cantidad de temas asociados a cada problema.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Comunicación entre dispositivos a través del uso de la red LoRaWAN para el desarrollo del Internet de las Cosas

**Cesano, Martin Grabriel**

**Medina, Lisandro**

**Mosca, Sebastian Jesús**

**Zegatti, Tomas Gustavo**

## Abstract

*En el contexto de la Beca de investigación y Servicio adjudicada en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María nos adentramos en el mundo de "El Internet de las Cosas" (IoT), el cual da vida al concepto de "objetos inteligentes" mediante la implementación de sensores, nodos emisores de señales, software y conectividad a una red LoRaWAN y su procesamiento de datos utilizando ChirpStack, un servidor de red open source destinado a proyectos de la red LoRaWAN. Experimentamos con los diferentes tipos de datos recolectados por un nodo, su alcance de transmisión y cómo procesarlo para generar informes de valor para nuestra facultad regional. Durante el desarrollo del artículo se detalla el funcionamiento de un nodo LoRa SX1276 ESP32 BT WiFi, una antena gateway "Kerlink WirNet iStation 923" y un servidor de ChirpStack. Se estableció el flujo de comunicación necesario para visualizar los datos enviados desde el nodo hacia el servidor a través del gateway.*

*Es una topología que sirve de base para su posterior adaptación a la necesidad de monitoreo a través de la integración de sensores a la placa del nodo para extraer datos precisos del ambiente con la finalidad de automatizar procesos o tomar decisiones con base en la información de valor recolectada y procesada en zonas donde no se dispone de una conexión WiFi.*

## Palabras Claves

*IoT - LoRaWAN - ChirpStack - Nodo - Lora SX1276 ESP32 BT WiFi - Gateway - Kerlink WirNet iStation 923 - Arduino IDE*

## 1. Introducción

Hoy en día, miremos por donde miremos, nos encontramos rodeados de dispositivos inteligentes. Estos no solo desarrollan funciones complejas y cálculos imposibles de realizar para el cerebro humano, sino que se encuentran intercomunicados entre sí, creando redes de datos que son muy útiles para las tareas cotidianas, que pasan desapercibidas. El usuario promedio tiene una noción de lo que es una red; conoce WiFi y Bluetooth sin saber que su naturaleza es compartida. Son tecnologías que implementan ondas de radio que difieren entre sí por la frecuencia de emisión, el alcance y la potencia. Todos los dispositivos que incorporan estas características forman parte de lo que se conoce como "Internet de las cosas" (IoT, por sus siglas en inglés). Para el desarrollo del IoT, es necesaria la unión de diferentes tecnologías: sensores, nodos, gateways, servidores y computadoras. Existen muchas tecnologías que implementan ondas de radio a distintas frecuencias para crear redes con las que conectar dispositivos. En este artículo nos centraremos en la tecnología LoRa (Long Range), más precisamente en LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Esta tecnología es versátil ya que puede implementarse para resolver problemas que requieran de un pequeño volumen de datos a transmitir entre dispositivos separados por distancias relativamente largas que van de los 500 m en espacios cerrados hasta los 20 km en campo abierto, sin la necesidad de desplegar una infraestructura típica de una red WiFi, la cual es significativamente más costosa. Este proyecto busca describir lo necesario para establecer una conexión entre un nodo LoRaWAN a un gateway cercano, visualizando los datos en el servidor ChirpStack y de ese modo generar información de valor, como reportes de temperatura y humedad, para resaltar los beneficios de usar esta tecnología.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 1.1. El internet de las cosas (IoT)

Según IBM [1], el Internet de las Cosas (IoT) se refiere al funcionamiento de un sistema de dispositivos y objetos físicos interconectados mediante una red, los cuales están integrados con sensores y software, permitiéndoles recopilar, enviar y compartir datos sin intervención humana directa.

### 1.2. La red LoRaWAN

De acuerdo con la LoRa Alliance [2], LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es una especificación de red de área amplia y baja potencia (LPWAN) diseñada para dispositivos de IoT. Esta tecnología permite que dispositivos de muy bajo consumo transmitan pequeñas cantidades de datos a distancias de varios kilómetros empleando bandas de radio sin licencia y con un coste mínimo. En este proyecto, se utilizan las frecuencias de la región Asia y Pacífico (AS923), ya que es la que soporta el hardware disponible.

### 1.3. Nodo

Dentro del mundo de LoRaWAN, un nodo es un dispositivo físico, conocido como de borde, que se puede comunicar con otros nodos o un gateway vía radiofrecuencia. Nuestro modelo "LoRa SX1276 ESP32 BT WiFi" (Figura 1) se caracteriza por su compatibilidad con WiFi y Bluetooth, y una pantalla OLED que permite visualizar mensajes.

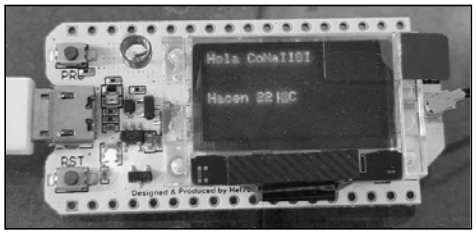



*Figura 1. LoRa SX1276 ESP32 BT WiFi*

### 1.4. Gateway

El gateway es el encargado de recopilar y concentrar datos de los diferentes nodos y retransmitirlos a la red. Los gateways pueden ser de Firmware mínimo o con sistema operativo, como lo es el caso de la "*Kerlink WirNet iStation 923*" (Figura 2), la cual cuenta con un sistema Linux embebido, software preinstalado y soporta actualizaciones OTA (Over The Air). El uso de gateways como puntos de interconexión entre diferentes redes contribuye a mejorar la redundancia del sistema, incrementando su confiabilidad, disponibilidad y capacidad de escalabilidad.




*Figura 2. Kerlink WirNet iStation 923*

### 1.5. Servidor

Según The Things Industries [3], el servidor de red LoRaWAN constituye el núcleo de toda red LoRaWAN y permite la conectividad, la gestión y la monitorización de dispositivos, puertas de enlace y aplicaciones de usuario final. Su objetivo principal es garantizar la seguridad, la escalabilidad y la fiabilidad del enrutamiento de datos en toda la red. Se optó por utilizar ChirpStack, un servidor de red LoRaWAN de código libre que permite la gestión de gateways y nodos, además de aportar una interfaz para visualizar sus datos. Dentro de su interfaz hay pestañas que aportan un alto valor para la lectura de los datos emitidos, por ejemplo: "Dashboard", "LoRaWAN frames" y "events". También se pueden crear perfiles para los diferentes nodos, permitiéndonos administrarlos de forma sencilla por su funcionamiento.

### 1.6. Topología de Red

Los componentes mencionados en la sección anterior constituyen las piezas que, dispuestas de la forma correcta, dan estructura y robustez a la red, que logra la comunicación entre el nodo y el servidor de aplicaciones (ver Figura 3).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



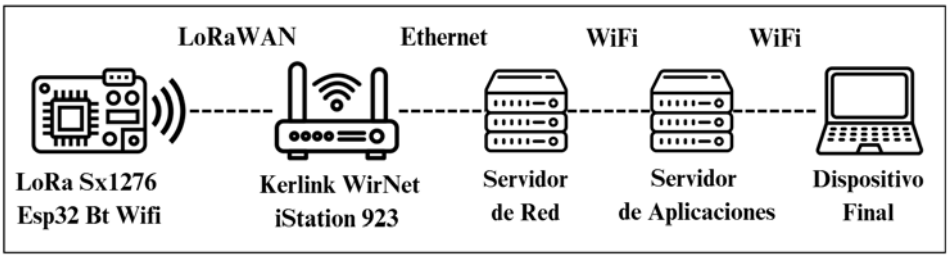



*Figura 3. Topología típica de una red LoRaWAN*

La información surge de los sensores que el nodo tenga instalados, viaja hacia el gateway, encapsulada mediante el protocolo de LoRaWAN. Una vez recibida se identifica el dispositivo emisor, y se transmite vía WiFi o Ethernet al servidor. El servidor cuenta con varios servicios encargados del manejo del mensaje para mostrarlo de forma clara y comprensible al usuario.

## 2. Construcción de la red

Para que los dispositivos realicen una comunicación exitosa se deben realizar una serie de configuraciones donde se detallan las frecuencias a trabajar para el envío de señales a través de LoRaWAN, en este caso el hardware disponible está diseñado para la región AS923, por lo que soporta frecuencias de alrededor de los 923 MHz, dividiéndose en sub bandas, de las cuales se utilizaron dos: 923.2 MHz y 923.4 MHz.

Lo principal es definir los parámetros de la comunicación en los archivos de los distintos servicios (se mencionan en las secciones siguientes) a través de terminal remota, y desarrollar el código que maneja el comportamiento del nodo, el cual se puede grabar desde una computadora con un cable microUSB.

### 2.1 Conexión Gateway - Servidor

Es necesario configurar la antena gateway y conectarla con el servidor de Chirpstack (servicio instalado en el servidor), para eso se modifican, utilizando un terminal remoto a través de ssh, los distintos parámetros que son indispensables para una correcta comunicación en los siguientes archivos del gateway: "lorafwd.toml" (se configura el gateway, la IP del servidor y las bandas permitidas), "lorad.json" (se configuran las bandas y frecuencias aceptadas por el gateway). En cuanto al servidor, los archivos importantes para su configuración son los siguientes: "chirpstack.toml" (se configura la base de datos, el servicio de MQTT, las regiones y frecuencias permitidas y las configuraciones básicas de la API).

Una vez aplicadas estas configuraciones, y tal como se detalla en el manual del fabricante Kerlink [4], se puede acceder desde un navegador a la IP del servidor y al puerto donde escucha ChirpStack, para asociar el gateway mediante el ID que figura en la etiqueta del equipo.

En el menú lateral de ChirpStack se encuentra la sección "Gateways", haciendo clic en el botón de agregar gateway se presenta un formulario que permite ingresar un nombre, descripción y el ID que se menciona anteriormente.

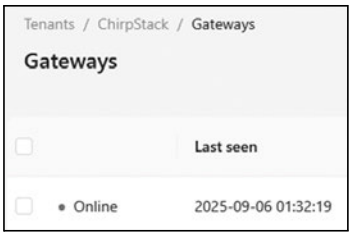



*Figura 4. Gateway conectada exitosamente*

En este punto se establece la conexión y se puede visualizar tanto en el dashboard principal como en la sección gateways (Figura 4) el estado "Online" de la antena.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 2.2. Conexión Gateway - Nodo

El nodo debe configurarse para comunicarse correctamente con el gateway, para que este pueda reenviar los datos al servidor de ChirpStack.

Es necesario registrar el dispositivo para que sea reconocible por ChirpStack. Lo primero es crear un Device Profile, opción ubicada en el menú lateral. Al agregar un nuevo registro se crean una serie de configuraciones predefinidas para luego aplicar en los distintos dispositivos que adopten ese perfil. Es importante habilitar la opción Support OTAA (Over The Air Activation) (ver Figura 5), para poder establecer una comunicación cifrada con el nodo. De forma similar se debe crear una aplicación en la sección Applications, y dentro de la misma registrar el nodo, haciendo clic en add device, estableciendo las credenciales OTAA necesarias para la autenticación en la red: DevEUI (Identificador de dispositivo), AppEUI (Identificador de aplicación) y AppKey (Clave de cifrado).

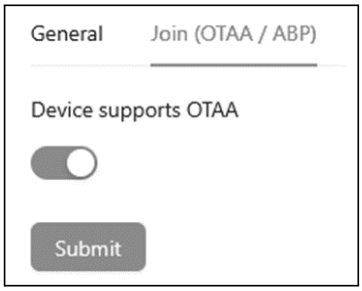



*Figura 5. Opción para permitir OTAA*

Se deben cargar en el microcontrolador del nodo las credenciales. Además, se debe establecer la configuración regional y habilitar únicamente los canales de comunicación permitidos por la red, lo que asegura que el nodo transmita en las frecuencias que el gateway está escuchando. Los parámetros se cargan al nodo mediante el entorno de desarrollo Arduino IDE [5], el cual, según la documentación oficial de Arduino, permite escribir y grabar instrucciones en el dispositivo en un formato conocido como Sketch. Para utilizar correctamente el IDE, es necesario configurar la siguiente información: Modelo de placa, en nuestro caso “Heltec WiFi LoRa 32 (V2) COM3”, luego el puerto, que es “COM3”, y las librerías “MCCI LoRaWAN LMIC library” y “Heltec ESP32 Dev-Boards” para poder desarrollar correctamente el funcionamiento de nuestro nodo. En el código, además de las credenciales OTAA, también se incluyen las instrucciones para el envío de mensajes y el manejo de estados de la comunicación.

Cuando el nodo se enciende y está listo para conectarse a la red, inicia un Join Request usando las credenciales OTAA previamente cargadas. Este mensaje es recibido por el gateway, que lo reenvía al servidor .

El servidor valida el DevEUI, AppEUI y AppKey, si todo coincide, genera dinámicamente las claves de sesión (NwkSKey y AppSKey) y envía un Join Accept al nodo a través del gateway.




*Figura 6. Proceso de Join exitoso*

Una vez completado este proceso, el nodo queda autenticado y las comunicaciones posteriores se cifran automáticamente con las claves de sesión. Los mensajes se pueden ver en la sección LoRaWAN Frames, tanto del gateway como del nodo (ver Figura 6).

## 3. Envío de mensajes

En esta sección se describen los mensajes que se envían entre el nodo y el servidor, analizando su contenido y formato.

### 3.1 Uplinks y Downlinks

Un Uplink es un mensaje que envía un nodo al servidor y un Downlink es el mensaje que envía el servidor hacia el nodo.

En el proceso de envío de mensajes en la red LoRaWAN, un nodo envía un dato al gateway (uplink) que se encuentra siempre escuchando. Al recibir el Uplink, el gateway lo reenvía al

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



servidor de red. A continuación, el servidor analiza el mensaje y envía una respuesta al nodo a través de un Downlink, pasando por el gateway.




*Figura 7. Recepción y envío de mensaje exitoso*

### 3.2. Contenido del mensaje (Payload)

El Uplink que envía el nodo al servidor incluye:

- Datos de sensor: Como una temperatura o un nivel de humedad, codificados.
- Formato: tipo de codificación, por ejemplo hexadecimal.
- DevEUI: identificador del nodo.
- fCnt: contador de mensajes enviados.
- RxInfo: información de recepción
- TxInfo: parámetros de transmisión

Dentro de los campos mencionados anteriormente que forman el mensaje, el que permite la manipulación y procesamiento para crear APIs y luego consumirlas con otras aplicaciones, es el que corresponde a la sección de datos o “Data”. Los mensajes se pueden ver desde el apartado “Events” en el device (ver Figura 8) y también adoptar el formato JSON, el campo principal es “data”, donde se envía la información útil en ASCII Hexadecimal que puede ser decodificada para ver el mensaje.

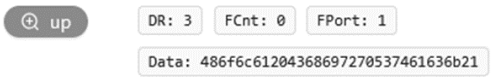



*Figura 8. Uplink recibido y decodificado con éxito*

## 4. Trabajos Relacionados

Para lograr una correcta interacción entre el código y el nodo, se siguió como guía el tutorial publicado por Random Nerd Tutorials [6], donde se describe un proyecto similar de comunicación punto a punto entre dos nodos utilizando LoRa.

## 5. Desarrollo del proyecto

En la primera etapa del proyecto, comprendida por dos semanas (semana uno y semana dos), decidimos investigar sobre los diferentes componentes de hardware y las tecnologías que se iban a utilizar en el desarrollo del proyecto. Posteriormente a esta etapa de investigación, se realizó una reunión presencial en la sala de coworking de nuestra facultad, entre todos los miembros del equipo para compartir conocimientos, avances y descubrimientos acerca de lo investigado.

Las siguientes dos semanas (semana tres y semana cuatro), se comenzó con la etapa de desarrollo. En primera instancia, el equipo optó por la herramienta Redmine de gestión de proyectos, donde se realizó la administración de tareas, avances y configuraciones.

Una vez seleccionada la herramienta de gestión, procedimos con la creación de la red LoRa y sus configuraciones correspondientes.

Durante la quinta semana, el equipo se centró en el desarrollo del algoritmo con Arduino IDE para la placa ESP32, cuyo objetivo es generar datos que puedan ser visualizados en el servidor.

En la sexta semana, nos percatamos de un error en la configuración de las bandas de la placa, la antena y el servidor, lo que impedía la correcta transmisión de los datos entre los dispositivos. Por consiguiente, mediante consultas a diversos ingenieros en sistemas y electrónica dentro de la facultad, se acordó una reunión virtual para implementar las configuraciones correctas. Luego de una segunda reunión, logramos corregir el error y continuar de forma fluida en el desarrollo del proyecto.

En la última semana (semana siete), logramos levantar exitosamente el proyecto, realizando posteriormente diversos casos de prueba para determinar los alcances físicos de la conexión en los alrededores de la universidad y su efectividad en interiores.

Como último objetivo a concretar en las semanas ocho, nueve y diez, establecimos los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



nuevos roles para la instalación de los sensores en el nodo y el desarrollo de una aplicación web capaz de mostrar los datos capturados por el nodo LoRa en formato de informes y estadísticas.

## 6. Conclusión

Este proyecto nos impulsó a expandir nuestra zona de confort, al tener que investigar cómo interactuar directamente con hardware, cómo desplegar una infraestructura de red y desarrollar utilizando tecnologías desconocidas para el equipo de trabajo en un periodo de tiempo corto (un mes). Logramos con éxito el despliegue de la red y la configuración de los servicios.

A partir de esta red básica que se trató a lo largo del artículo se abren nuevas puertas para desarrollos innovadores y creativos implementando sensores que ofrezcan datos para la generación de información analítica útil para una eficaz y eficiente gestión de diferentes aspectos de nuestra facultad. Lo siguiente es construir una red de LoRaWAN que abarque toda la facultad y ayude al monitoreo de, por ejemplo, el uso energético en aulas y oficinas vacías. Una vez la red esté funcionando, se podría ampliar el área de alcance a la ciudad de Villa María, en conjunto con los diferentes proyectos en los que la facultad se involucra.

## Referencias

[1] IBM, "¿Qué es el IoT?", IBM, [En línea]. Disponible en: https://www.ibm.com/es-es/topics/internet-of-things. [Accedido: 6 de septiembre de 2025]

[2] LoRa Alliance, "What is LoRaWAN® Specification", LoRa Alliance, [En línea]. Disponible en: https://lora-alliance.org/about-lorawan-old/ [Accedido: 21 de agosto de 2025].

[3] The Things Industries, "What is a LoRaWAN Network Server?", The Things Industries, 27 de agosto de 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.thethingsindustries.com/news/what-lorawan-network-server/. [Accedido: 6 de septiembre de 2025].

[4] Kerlink, "GWKLK1700 Wirnet iStation LoRaWAN User Guide," Kerlink, [En línea]. Disponible en: https://manuals.plus/kerlink/gwklk1700-wirnet-istation-lorawan-manual. [Accedido: 6 de septiembre de 2025].

[5] Arduino, "Arduino Software (IDE)", Arduino, [En línea]. Disponible en: https://www.arduino.cc/en/software/. [Accedido: 6 de septiembre de 2025].

[6] Random Nerd Tutorials, "TTGO LoRa32 SX1276 OLED with Arduino IDE", Random Nerd Tutorials, [En línea]. Disponible en: https://randomnerdtutorials.com/ttgo-lora32-sx1276-arduino-ide/. [Accedido: 31 de julio de 2025].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Clasificación de Requerimientos de Software en Escenarios de Datos Limitados mediante Aprendizaje Automático

**Agüero, Gonzalo Manuel y Gaitán, Gonzalo Andrés**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe***

**Abstract**

*Los requerimientos de software redactados en lenguaje natural desempeñan un papel crucial en la Ingeniería de Requerimientos (IR), ya que constituyen los artefactos que comunican las necesidades y restricciones del sistema a desarrollar en un lenguaje accesible para todos los actores del proceso. No obstante, el uso de lenguaje natural introduce ambigüedades que dificultan su correcta especificación [1][2]. Para mitigar este problema, se han propuesto lenguajes estructurados que guían la redacción y reducen la posibilidad de ambigüedad. Entre ellos, la propuesta EARS (Easy Approach to Requirements Syntax) [3] clasifica los requerimientos en cinco categorías y proporciona plantillas específicas para su formulación. En este trabajo se entrenan distintos modelos de Aprendizaje Automático (AA) sobre un conjunto reducido de requerimientos, con el fin de clasificar expresiones según las categorías definidas por EARS. El objetivo es evaluar el desempeño de estas técnicas en escenarios con datos limitados. Los resultados obtenidos muestran que el mejor modelo alcanzó un rendimiento de 0.905 con respecto a la exactitud (Accuracy), 0.905 con respecto al puntaje F1 (F1-Score), 0.911 con respecto a la precisión (Precision) y 0.905 con respecto a la recuperación (Recall).*

**Palabras Clave**
Clasificación de Requerimientos, Aprendizaje Automático

## Introducción

En la Ingeniería de Requerimientos (IR), los requerimientos de software redactados en lenguaje natural constituyen el medio predominante para capturar y comunicar las necesidades, restricciones y objetivos de un sistema en desarrollo. Si bien esta forma de representación facilita la comprensión entre los distintos actores involucrados —incluidos clientes, usuarios finales, analistas y desarrolladores—, presenta una limitación crítica: la ambigüedad inherente al lenguaje natural [1][2]. Esta característica compromete la precisión y la consistencia en la interpretación de los requerimientos, lo que puede derivar en errores durante las etapas posteriores del proceso de desarrollo. Para mitigar este problema, se han propuesto enfoques que restringen el uso del lenguaje natural mediante lenguajes controlados o estructurados, con el objetivo de mejorar la claridad y reducir los errores de interpretación. Entre ellos, destaca EARS [3], una técnica que clasifica los requerimientos en categorías bien definidas y propone su redacción a través de plantillas sintácticas simples. Este enfoque no solo favorece una redacción más uniforme, sino que también promueve la adopción de buenas prácticas en la especificación de requerimientos, incluso en equipos con experiencia limitada en la disciplina. En este contexto, el Aprendizaje Automático (AA) surge como una herramienta prometedora para asistir en la clasificación y estructuración de requerimientos [4][5]. En particular, los modelos de clasificación pueden entrenarse para identificar de manera automática la categoría de EARS correspondiente a una expresión en lenguaje natural, reduciendo así el esfuerzo manual e incrementando la consistencia del proceso. No obstante, un desafío recurrente en la aplicación de técnicas de AA es la necesidad de contar con conjunto de datos suficientemente grandes y representativos. Cuando la disponibilidad de datos es limitada, como ocurre con colecciones reducidas de requerimientos, la capacidad de generalización de los modelos se ve comprometida, lo que exige el diseño de estrategias de entrenamiento adecuadas y la exploración de enfoques que permitan un desempeño robusto en escenarios con pocos datos.

La propuesta de este trabajo se centra en el entrenamiento y la evaluación de distintos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



modelos de Aprendizaje Automático utilizando un conjunto de datos reducido de requerimientos redactados en lenguaje natural. El objetivo es analizar el desempeño de estas técnicas para clasificar expresiones de requerimientos conforme a las categorías definidas por EARS en escenarios con datos limitados. La organización del artículo es la siguiente: la Sección 2 presenta el marco teórico y los trabajos relacionados; la Sección 3 describe el diseño experimental y las pruebas realizadas; la Sección 4 expone los resultados obtenidos; y la Sección 5 discute dichos resultados y plantea líneas de trabajo futuro.

**Trabajos Relacionados**

En los últimos años, diversos estudios han aplicado técnicas de aprendizaje automático para la clasificación de requerimientos de software, explorando distintos enfoques y objetivos. Entre ellos, Binkhonain y Zhao [6] proponen HC4RC (Clasificación Jerárquica de Requerimientos de Software), un método que combina selección de características basada en roles semánticos, preprocesamiento del conjunto de datos y clasificación jerárquica. Sus experimentos muestran que HC4RC supera a los métodos tradicionales basados en Máquinas de Vectores de Soporte (SVM, por sus siglas en inglés) y alcanza un desempeño cercano al de los grandes modelos de lenguaje. En otro trabajo, Canedo y Mendes [7] comparan distintas técnicas de representación vectorial —Bolsa de Palabras (BoW), Frecuencia de Término–Frecuencia Inversa de Documento (TF-IDF) y Chi-cuadrado ($\chi^2$)— junto con algoritmos supervisados como Máquinas de Vectores de Soporte, k-Vecinos Más Cercanos (k-NN), Naive Bayes Multinomial (MNB) y Regresión Logística (RL) para clasificar requerimientos funcionales y no funcionales utilizando el conjunto de datos PROMISE. Sus resultados muestran que la combinación de TF-IDF con regresión logística o con máquinas de vectores de soporte alcanza el mejor rendimiento (F1 = 0,91), subrayando además la incidencia del desbalance de clases en la precisión de la clasificación. Más alineado con la presente propuesta, Tahir y colaboradores [8] prepararon un conjunto de datos con más de 9.000 requerimientos de software para su clasificación según el enfoque EARS, alcanzando un valor de exactitud (Accuracy) de 0,93. No obstante, el conjunto de datos presenta un desbalance significativo, de modo que en algunas categorías —Opcional (Optional) y No Deseado (Unwanted)— los modelos muestran un desempeño limitado, con puntuaciones F1 por debajo de 0,5 y 0,6, respectivamente.

El presente trabajo propone la construcción de un conjunto de datos reducido, que resulta en 471 muestras y permite disminuir el tiempo de preparación. Sobre este conjunto se seleccionan y entrenan modelos de aprendizaje automático capaces de ofrecer un desempeño robusto en escenarios con datos limitados, con el objetivo final de evaluar y comparar sus resultados.

**Marco Teórico**

**1-EARS**

La propuesta EARS [3] se basa en la identificación de patrones en los textos de requerimientos y propone un conjunto reducido de plantillas sintácticas que abarcan la mayoría de los casos prácticos. Estas plantillas permiten expresar categorías como Ubicuo (Ubiquitous), Basado en Eventos (Event-driven), Basado en Estados (State-driven), Opcional (Optional) y No Deseado (Unwanted) mediante una sintaxis clara, orientando al responsable de la redacción y reduciendo la ambigüedad sin requerir conocimientos formales avanzados. Entre sus beneficios, EARS mejora la comunicación entre los distintos interesados del proyecto y la trazabilidad de los requerimientos, al proporcionar una estructura reconocible y repetible. Además, su simplicidad facilita la participación de usuarios no especializados en la redacción y revisión de las especificaciones.

**2-Aprendizaje automático**

El aprendizaje automático es un subcampo de la inteligencia artificial que se centra en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



el desarrollo de algoritmos capaces de identificar patrones a partir de datos, sin requerir una programación explícita para cada tarea. Los sistemas de aprendizaje automático buscan generalizar a partir de ejemplos, permitiendo realizar predicciones o clasificaciones sobre datos previamente no observados [9].

Existen tres categorías principales de aprendizaje automático: supervisado, no supervisado y por refuerzo. En este trabajo se emplea aprendizaje supervisado, en el cual los modelos se entrenan con datos etiquetados para aprender una función que relacione entradas y salidas conocidas [10].

Entre los algoritmos más utilizados se encuentran métodos estadísticos clásicos como k-NN, Naive Bayes y Bosques Aleatorios (Random Forest), así como técnicas más complejas basadas en redes neuronales profundas. La elección del algoritmo depende de la naturaleza del problema, la cantidad de datos disponibles y la necesidad de interpretar los resultados. Cada modelo requiere un proceso de preprocesamiento de datos, selección de características y ajuste de hiperparámetros para alcanzar un desempeño óptimo.

**3-Métricas de evaluación**

La evaluación de los modelos de aprendizaje automático se realiza mediante métricas que cuantifican su capacidad predictiva y su generalización, tales como precisión (precision) (1), recuperación (recall) (2), puntaje F1 (F1-score) (3) y exactitud (accuracy) (4). La validación cruzada constituye una estrategia habitual para estimar el desempeño de los modelos y prevenir el sobreajuste, dividiendo el conjunto de datos en particiones que permiten entrenar y evaluar el modelo de manera repetida [10].

$$Presición = \frac{VP}{VP + FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{VP}{VP + FN} \quad (2)$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{Presición \cdot Recall}{Presición + Recall} \quad (3)$$

$$Exactitud = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (4)$$

VP (verdaderos positivos), FP (falsos positivos), VN (verdaderos negativos), FN (falsos negativos)

## Nuestra Propuesta

**1-Conjunto de datos**

Las pruebas se realizaron sobre un conjunto de datos recopilado de textos de requerimientos de diversas fuentes, incluidos los trabajos de Sonali Sonali, Srinivasarao Thamada [11] y Ferrari, Alessio, Spagnolo Giorgio Oronzo y Gnesi, Stefania [12], así como documentos de especificación de dominio público, buscando diversidad de dominios.

El conjunto de datos consta de dos columnas: a) el texto del requerimiento, sin una estructura sintáctica definida por patrones (User_Need), y b) la categoría EARS (Class_EARS), que puede ser una de cinco etiquetas: Ubicuo (Ubiquitous), Basado en Eventos (Event-driven), Basado en Estados (State-driven), Opcional (Optional) y No Deseado (Unwanted) (Tabla 1). Incluye 471 muestras, de las cuales 143 pertenecen a la categoría Ubiquitous, 129 a la categoría Event-driven, 76 a la State-driven, 71 a la Unwanted behavior y 52 a la categoría Optional (Figura 1). El reducido número de muestras por categoría representa un aspecto relevante a considerar al seleccionar los modelos para las pruebas.

*Tabla 1. Ejemplos de muestras del dataset.*

| User_Need | Class_EARS |
|---|---|
| *The app should provide offline maps if the maps module is downloaded.* | *Optional* |
| *Authentication is made by user name and a password for all users.* | *Ubiquitous* |
| *The system will show an error message if the email* | *Unwanted behavior* |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | |
|---|---|
| *or phone number is not valid.* | |
| *User shall be able to view the full text regarding a topic by clicking on it.* | *Event-driven* |
| *The system should keep logs while debug mode is enabled.* | *State-driven* |

**2-Modelos**

Los modelos empleados en las pruebas fueron seleccionados considerando dos criterios principales: primero, su capacidad para entrenarse con el reducido tamaño del conjunto de datos; y segundo, la eficiencia computacional requerida durante el entrenamiento, de manera que los experimentos pudieran realizarse con los recursos disponibles.

Siguiendo estos criterios, se eligieron tres modelos: k-NN, Naive Bayes y Random Forest.

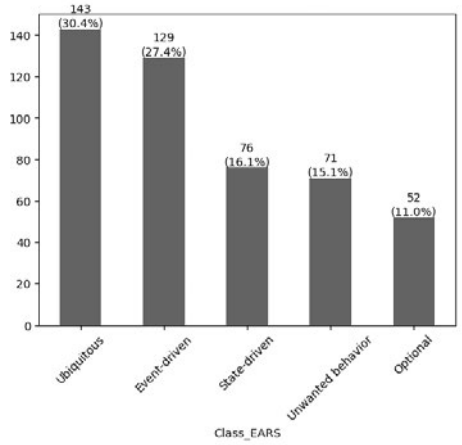



*Figura 1. Balance del conjunto de datos.*

**3-Proceso de Entrenamiento**

Para el entrenamiento de los modelos se aplicaron diversas técnicas, que se describen a continuación.

*Preprocesamiento del texto.* Antes del entrenamiento, los textos del conjunto de datos fueron sometidos a un preprocesamiento que incluyó la conversión a minúsculas, la eliminación de signos de puntuación y caracteres especiales, así como la normalización de espacios en blanco. Este procedimiento asegura que las variaciones superficiales en la escritura no afecten el desempeño de los modelos y prepara los textos para su representación numérica.

*Vectorización del texto.* Los textos preprocesados se transformaron en representaciones numéricas mediante la técnica de TF-IDF (Frecuencia de Término–Frecuencia Inversa de Documento) (Figura 2). Esta vectorización permite capturar la importancia relativa de cada término en los documentos, facilitando que los modelos de clasificación trabajen con datos estructurados y comparables.

$$TF\text{-}IDF(t,d) = TF(t,d) \cdot IDF(t)$$

Donde:

$$TF(t,d) = \frac{N°\ de\ veces\ que\ t\ aparece\ en\ d}{N°\ total\ de\ términos\ en\ d}$$

$$IDF(t,d) = \log\frac{N}{1+n_t}$$

*Figura 2. Función TF-IDF.*

*División del dataset.* Antes del proceso de entrenamiento, el conjunto de datos se dividió en dos subconjuntos: un 80% destinado al entrenamiento y un 20% reservado para pruebas, con el objetivo de garantizar la validez de la evaluación.

*Balance del dataset.* Una vez completados los procesos de vectorización del texto y la división en subconjuntos de entrenamiento y prueba, se aplicó la técnica SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) con el fin de generar muestras sintéticas a partir del espacio vectorial obtenido. Esta técnica se utilizó exclusivamente sobre el subconjunto de entrenamiento, debido al marcado desbalance que presentaba el dataset original.

*Entrenamiento.* Luego de dividir el dataset y generar muestras sintéticas para el entrenamiento, se entrenaron tres clasificadores: K-Nearest Neighbors (K-NN), Naive Bayes y Random Forest. Para cada uno de ellos se llevó a cabo una búsqueda en grilla (Grid Search) utilizando los valores de hiperparámetros detallados en la Tabla 2, donde se especifica por cada

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



hiperparámetro el conjunto de valores probados entre corchetes. La optimización se realizó aplicando validación cruzada estratificada con cinco particiones (Stratified K-Fold). Esta técnica permitió evaluar de forma más robusta a cada modelo, asegurando que en cada partición se mantuviera la misma proporción de clases que en el conjunto de datos original. De esta manera, se evitó que alguna categoría quedara subrepresentada en las particiones de entrenamiento o validación, lo cual contribuye a obtener resultados más equilibrados y representativos.

*Tabla 2. Hiperparámeros probados con GridSearch.*

| Modelo | Hiperparámetro | Valores probados |
|---|---|---|
| **Random Forest** | n_estimators | [100, 300] |
| | max_depth | [None, 10, 20] |
| | min_samples_split | [2, 5] |
| | min_samples_leaf | [1, 4] |
| **K-Nearest Neighbors** | n_neighbors | [1, 2, …, 30] (todos los enteros del 1 al 30) |
| | weights | ['uniform', 'distance'] |
| | metric | ['euclidean', 'manhattan', 'cosine'] |
| **Naive Bayes** | alpha | [0.01, 0.1, 0.5, 1.0] |
| | fit_prior | [True, False] |

*Evaluación.* El rendimiento de los modelos se evaluó mediante métricas estándar de clasificación: exactitud, recuperación, precisión y F1. Estas métricas permitieron comparar la capacidad de los modelos para predecir correctamente cada categoría EARS y ofrecer una visión integral de su efectividad en la tarea de clasificación de requerimientos. La Tabla 3 presenta los mejores resultados obtenidos por cada uno de los modelos (al igual que la Figura 3) en cada métrica, mientras que la Tabla 4 presenta la mejor configuración de hiperparámetros encontrada mediante la búsqueda en rejilla (Grid Search).

*Tabla 3: Métricas resultantes por cada modelo.*

| | Modelo | | |
|---|---|---|---|
| **Métrica** | **RF** | **KNN** | **NB** |
| **Accuracy** | 0.91 | 0.82 | 0.86 |
| **Precision** | 0.91 | 0.83 | 0.88 |
| **Recall** | 0.91 | 0.82 | 0.86 |
| **F1-score** | 0.91 | 0.82 | 0.87 |

RF (Random Forest), KNN (K-Nearest Neighbors), NB (Naive Bayes).

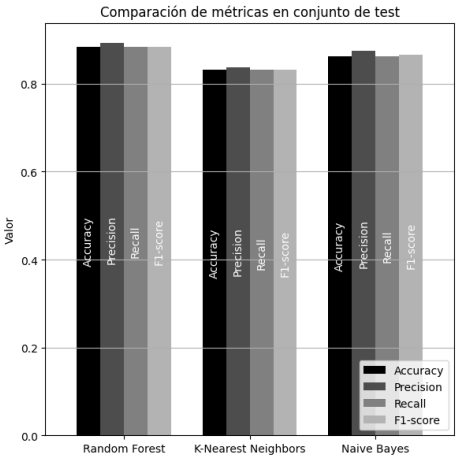



*Figura 3. Gráfica de las métricas obtenidas por cada modelo.*

*Tabla 4: Hiperparámetros para los mejores modelos.*

| Modelo | Hiperparámetro | Valor |
|---|---|---|
| **RF** | max_depth | None |
| | min_samples_leaf | 1 |
| | min_samples_split | 2 |
| | n_estimators | 300 |
| **KNN** | metric | manhattan |
| | n_neighbors | 1 |
| | weights | uniform |
| **NB** | alpha | 0.01 |
| | fit_prior | True |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



RF (Random Forest), KNN (K-Nearest Neighbors), NB (Naive Bayes).

## Conclusión y Trabajos Futuros

Con el trabajo realizado se pudo comprobar que incluso con un conjunto de datos muy limitado (menos de 500 muestras) es posible obtener buenos resultados utilizando las técnicas adecuadas y asegurando una buena calidad en los datos.

Es importante destacar que resulta prácticamente imposible capturar la gran diversidad de posibles requerimientos de software en un conjunto de datos tan reducido. Por ello, aunque los resultados de la evaluación del modelo sean positivos, es probable que su desempeño disminuya al enfrentarse con requerimientos muy distintos a los presentes en el conjunto de datos construido.

Como posibles trabajos futuros, proponemos continuar con la construcción de un conjunto de datos más grande que permita capturar mejor las diversidades del lenguaje utilizado en la especificación de requerimientos de software. También, proponemos experimentar con el uso de otros modelos, configuraciones y técnicas más avanzadas de tratamiento de los datos y aprendizaje automático.

En síntesis, el presente trabajo constituye un primer paso hacia la construcción de un modelo más robusto, capaz de ser utilizado con confianza en escenarios reales.

**Referencias**

[1] Pohl, K., & Rupp, C. (2015). Requirements Engineering Fundamentals: A Study Guide for the Certified Professional for Requirements Engineering Exam – Foundation Level – IREB compliant (2nd ed.). Rocky Nook.

[2] Ferrari, A., & Ginde, G. (Eds.). (2025). Handbook on natural language processing for requirements engineering. Springer. doi.org/10.1007/978-3-031-73143-3

[3] Mavin, A., Wilkinson, P., Harwood, A., & Novak, M. (2009). Easy Approach to Requirements Syntax (EARS). 17th IEEE International Requirements Engineering Conference.

[4] Rahimi, N.; Eassa, F.; Elrefaei, L. (2020) An Ensemble Machine Learning Technique for Functional Requirement Classification. Symmetry 2020, 12, 1601, doi.org/10.3390/sym12101601

[5] Gramajo M., Ballejos L. and Ale M., "Seizing Requirements Engineering Issues through Supervised Learning Techniques," in IEEE Latin America Transactions, vol. 18, no. 07, pp. 1164-1184, July 2020, doi.org/10.1109/TLA.2020.9099757

[6] Binkhonain, M., & Zhao, L. (2023). A machine learning approach for hierarchical classification of software requirements. Machine Learning with Applications, 12, 100457. doi.org/10.3390/e22091057

[7] Dias Canedo, E., & Cordeiro Mendes, B. (2020). Software Requirements Classification Using Machine Learning Algorithms. Entropy, 22(9), 1057. doi.org/10.3390/e22091057

[8] Tahir, T., Jahankhani, H., Tasleem, K., & Hassan, B. (2025). Cross-Project Multiclass Classification of EARS-Based Functional Requirements Utilizing Natural Language Processing, Machine Learning, and Deep Learning. Systems, 13(7), 567. doi.org/10.3390/systems13070567

[9] Mitchell, T. M. (1997). Machine learning. New York: McGraw-Hill.

[10] Alpaydin, E. (2014). Introduction to machine learning (3.ª ed.). The MIT Press.

[11] Sonali, Sonali; Thamada, Srinivasarao (2024), "FR_NFR_dataset", Mendeley Data, V1, doi.org/10.17632/4ysx9fyzv4.1

[12] Ferrari, A., Spagnolo, G. O., & Gnesi, S. (2018). PURE: a Dataset of Public Requirements Documents (1.0) [Data set]. 2017 IEEE 25th International Requirements Engineering Conference (RE), Lisbon, Portugal. Zenodo. doi.org/10.5281/zenodo.1414117

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Adaptación Nutricional Asistida por IA: Un Enfoque Práctico para la Adherencia Alimentaria

**Medina, Maira R.; Ovando, Laura G.; Perez, Elias Daniel**
***Universidad Nacional del Chaco Austral***

**Abstract**
*Muchas personas enfrentan dificultades para sostener una alimentación saludable debido a la rigidez de las recomendaciones nutricionales y a la falta de herramientas prácticas para adaptar sus recetas cotidianas. La imposición de ingredientes como la harina integral, sin ofrecer alternativas apetecibles o flexibles, contribuye a la frustración y al abandono de los planes alimentarios. Este trabajo propone el desarrollo de una plataforma web de recetas saludables que utiliza inteligencia artificial para adaptar recetas tradicionales según los objetivos, preferencias o restricciones del usuario. El sistema permite ingresar o seleccionar una receta, y mediante un modelo de lenguaje generativo (GPT), sugiere reemplazos saludables para ingredientes poco recomendables, como harinas refinadas, azúcares simples o productos ultra procesados, manteniendo el sabor y la funcionalidad culinaria. Además, brinda explicaciones de cada cambio y una comparación nutricional estimada entre la versión original y la modificada. La plataforma contempla tanto a usuarios que siguen dietas estrictas (por razones médicas o personales) como a quienes desean simplemente mejorar sus hábitos. Esta propuesta busca responder a una problemática ampliamente documentada: la baja adherencia a planes alimentarios demasiado restrictivos. Al facilitar la personalización y comprensión de los cambios, la herramienta promueve una alimentación más sostenible, autónoma y placentera.*

**Palabras Clave**
Inteligencia artificial, recetas saludables, adherencia dietética, personalización alimentaria, reemplazo de ingredientes, nutrición digital, modelos de lenguaje, plataformas web, alimentación sostenible.

## Introducción

En la actualidad, muchas personas enfrentan dificultades para sostener planes alimentarios saludables, no solo por falta de motivación, sino también por la rigidez de las recomendaciones nutricionales disponibles. Las guías dietéticas suelen enfocarse en eliminar ciertos ingredientes considerados poco saludables —como la harina blanca refinada, el azúcar o las grasas saturadas— sin ofrecer alternativas concretas que se adapten a los gustos, hábitos y posibilidades del usuario. Esta falta de herramientas prácticas y flexibles genera frustración, bloqueo y, en muchos casos, abandono del proceso alimentario saludable [1][2].

Uno de los casos más representativos ocurre con el reemplazo de la harina blanca. Se recomienda habitualmente sustituirla por harina integral, pero esta opción no siempre es bien recibida debido a su textura densa o su sabor más amargo [3]. De modo similar, se aconseja incorporar alimentos saludables como la avena en preparaciones simples como “avena con yogurt”, sin explorar su versatilidad en recetas más atractivas. La ausencia de recursos claros para adaptar recetas tradicionales con ingredientes funcionales y nutritivos lleva a muchos usuarios a sentirse limitados, desmotivados o incapaces de sostener una alimentación saludable en el tiempo.

Estudios recientes señalan que uno de los factores más relevantes en la baja adherencia dietética es precisamente la falta de adaptabilidad de las recomendaciones a la vida cotidiana [1][4]. En este contexto, se vuelve necesario el desarrollo de herramientas [5] que faciliten la personalización de recetas sin exigir conocimientos técnicos ni sacrificar el placer de comer. Este trabajo propone una plataforma web que, mediante el uso de inteligencia artificial, permita a los usuarios transformar recetas tradicionales en versiones más saludables según sus objetivos, restricciones o preferencias [6][7].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La propuesta busca responder a una problemática concreta desde un enfoque práctico, educativo y sostenible.

**Desarrollo**

En esta sección se detalla el núcleo técnico de la propuesta. Primero, se describe la **arquitectura del sistema**, especificando los componentes del frontend, backend y la base de datos. A continuación, se explican los dos **casos de uso** principales: la personalización y la creación de recetas. Finalmente, se profundiza en el **sistema de validación** de tres capas, diseñado para garantizar la seguridad y coherencia de las respuestas generadas por la inteligencia artificial.

**Arquitectura del Sistema**

La arquitectura propuesta, representada en la Figura 1, se basa en un enfoque modular que integra una interfaz de usuario desarrollada en React, un servidor Node.js encargado de la lógica de negocio y la validación, una base de datos relacional para el almacenamiento persistente, y una API de modelo de lenguaje para el procesamiento inteligente de recetas.

El **frontend** se implementó como una aplicación web con Next.js, framework que extiende React y permite renderizado del lado del servidor (SSR), optimizando el rendimiento y el SEO [8]. Este módulo ofrece una interfaz intuitiva que permite al usuario ingresar recetas propias o seleccionar ingredientes disponibles en casa. Para la gestión del estado global —como preferencias, alergias y condiciones de salud— se utilizó la API Context de React, mientras que las solicitudes al backend se manejan mediante operaciones asíncronas con fetch.

El **backend**, desarrollado sobre Node.js utilizando el framework Express.js, expone una API RESTful que actúa como capa intermedia entre el cliente, la base de datos y el modelo de lenguaje, su modelo no bloqueante lo hace una tecnología eficiente para las consultas a API lentas [9]. Se definieron endpoints clave, como /api/v1/recipe/adapt y /api/v1/recipe/generate, que reciben las solicitudes del frontend, validan los datos de entrada y gestionan la comunicación con los demás componentes del sistema.

La **base de datos SQL** cumple un rol central en la arquitectura. Gestiona información de usuarios (condiciones de salud, alergias, gustos), ingredientes y recetas, además de proporcionar los datos de referencia utilizados por el sistema de validación. Se optó por una base de datos relacional (SQL) debido a sus propiedades **ACID** (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad), las cuales son fundamentales para garantizar la integridad y confiabilidad de la información en operaciones críticas. [10].

El sistema de validación, integrado en el backend, se organiza en tres capas:

- Validación crítica, enfocada en la salud y la seguridad alimentaria.
- Validación de consistencia culinaria, que evalúa la coherencia técnica de las recetas.
- Validación de gusto y preferencias, que considera los hábitos y restricciones del usuario.

Finalmente, el modelo de lenguaje se conecta mediante una API externa (como GPT), la cual se utiliza para adaptar recetas existentes o generar nuevas en función de los datos del usuario y las directrices definidas en los prompts [11].

Este diseño modular proporciona flexibilidad y escalabilidad, permitiendo futuras extensiones del sistema, como la incorporación de nuevas capas de validación, optimización de prompts o integración con servicios externos de análisis nutricional.

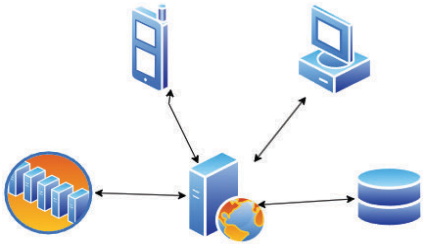


**Figura 1. Arquitectura del sistema.**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Caso de uso 1: Personalización de recetas**

Una de las funciones centrales de la plataforma es la capacidad de transformar recetas tradicionales en versiones más saludables, respetando el sabor, la textura y la función de cada ingrediente. Para ello, el sistema utiliza un modelo de lenguaje generativo al que se le envía la receta original, junto con una instrucción clara de optimización nutricional. Esta funcionalidad está pensada tanto para usuarios con restricciones dietéticas específicas como para quienes desean mejorar su alimentación sin conocimientos técnicos.

El sistema prioriza primero las opciones de recetas que cumplan sus necesidades en orden de prioridad, teniendo en cuenta en primer lugar su salud y luego sus gustos. El sistema mientras pase el filtro crítico no bloquea el acceso a las recetas que no cumplan el resto de los filtros, las deja como última opción. El sistema muestra la información de la receta, imágenes, ingredientes, pasos y valores nutricionales.

El usuario que entra a una receta de cualquier categoría y quiere adaptarla a sus necesidades, en el campo de ingredientes el usuario podrá seleccionar un botón para que el sistema realice la interacción del sistema con el motor de inteligencia artificial. Una vez que el motor responda el frontend procesa los cambios, esconde los campos viejos y reemplaza por los nuevos ingredientes, pasos y valores nutricionales y explica brevemente los cambios realizados

El motor recibe la solicitud a través de su API, en la Figura 2 se representa el prompt que recibe el motor solicitado por el sistema con la información de la receta y del usuario, procesa el prompt. En base de las restricciones del usuario, el motor modifica la receta para que cumpla los parámetros.

A continuación, el motor responde en formato JSON con los mismos campos de la receta, incluyendo las modificaciones realizadas. En la respuesta se especifica qué ingrediente se modificó y se añade un campo de comentarios que explica los cambios efectuados. Como se muestra la Figura 2



```
Eres un chef nutricionista especializado en adaptar recetas según las necesidades específicas de los
usuarios.

### INSTRUCCIONES:
1. Analiza la receta original y la información del usuario
2. Adapta la receta manteniendo su esencia pero mejorando su valor nutricional
...

### DATOS DE ENTRADA:
{
  "receta_original": {
    "nombre": "nombre de la receta",
    "ingredientes": [],
    "pasos": [],
    "valores_nutricionales_originales": {
      "calorias": "",
      ...
    }
  },
  "usuario": {
    "condiciones_salud": [],
    ...
  }
}
### FORMATO DE RESPUESTA REQUERIDO (JSON):
{
  "receta_adaptada": {
    "nombre": "nombre adaptado",
    "ingredientes": [],
    "pasos": ["paso adaptado con modificaciones"],
    "valores_nutricionales_adaptados": {
      "calorias": "",
      ...
    }
  },
  "comentarios_cambios": [
    "Cambio 1: Explicación detallada",
  ],
  "recomendaciones_adicionales": [
    "Recomendación 1",
    "Recomendación 2"
  ]
}
DIRECTRICES ESPECÍFICAS:
- Priorizar ingredientes integrales sobre refinados
- Reducir sodio para hipertensión
...
```

**Figura 2. Prompt de mejora de receta existente.**

**Caso de uso 2: Creación de recetas**

Además de adaptar recetas ya existentes, la plataforma ofrece una funcionalidad inversa: generar nuevas recetas saludables a partir de los ingredientes que el usuario tiene disponibles en su hogar. Esta herramienta está pensada para resolver una de las barreras más frecuentes en la adherencia a dietas saludables: la dificultad para planificar comidas sin contar con todos los ingredientes requeridos por recetas predefinidas.

El usuario entra al módulo de creación de receta y selecciona “Generar recetas a partir de ingredientes”. Aquí el sistema muestra divididas en categorías (Hortalizas, Legumbres, Carne etc) y el usuario va seleccionando los ingredientes que tenga en casa a medida que va bajando, antes de finalizar el usuario seleccionará el tipo de comida esperada (desayuno, almuerzo, cena,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tentempié), una vez finalizado la selección puede solicitar la receta
El sistema manda una solicitud al motor de inteligencia artificial a través de la API con el prompt que se presenta en la Figura 3, el modelo procesa los ingredientes solicitados como se ilustra en la Figura 4 y responde con una receta que utiliza exclusivamente los ingredientes listados, proponiendo cantidades, pasos detallados, y —cuando es posible— una breve explicación de los beneficios nutricionales de la preparación sugerida como en la Figura 5.



```
Eres un chef nutricionista especializado en crear recetas personalizadas a partir de los ingredientes
disponibles en casa del usuario.

### INSTRUCCIONES:
1. Analiza los ingredientes que el usuario tiene disponibles.
2. Diseña una receta completa utilizando la mayor cantidad posible de esos ingredientes.
"""

### DATOS DE ENTRADA:
{
  "ingredientes_disponibles": [],
  "usuario": {
    "condiciones_salud": [],
    ...
  }
}

### FORMATO DE RESPUESTA REQUERIDO (JSON):
{
  "receta_creada": {
    "nombre": "Nombre de la receta",
    "ingredientes_utilizados": [],
    "ingredientes_opcionales": [],
    "pasos": ["paso 1", "paso 2", "paso 3"],
    "valores_nutricionales_estimados": {
      "calorias": "",
      ...
    }
  },
  "comentarios_decisiones": [
    "Decisión 1: Explicación detallada",
    "Decisión 2: Beneficio específico"
  ],
  "recomendaciones_adicionales": [
    "Recomendación 1",
    "Recomendación 2"
  ]
}

### DIRECTRICES ESPECÍFICAS:
- Aprovechar al máximo los ingredientes disponibles.
- Evitar combinaciones incoherentes o inseguras.
- Mantener balance nutricional.
"""
```

**Figura 3. Prompt para crear una receta**

Este tipo de funcionalidad favorece la autonomía del usuario, estimula el aprovechamiento de ingredientes disponibles y promueve la creatividad culinaria dentro de un marcó saludable. Además, reduce la dependencia de recetas rígidas y contribuye a una mejor adherencia a largo plazo.



```
{
  "ingredientes_disponibles": ["arroz", "tomate", "zanahoria", "huevo", "queso rallado"],
  "usuario": {
    "condiciones_salud": ["hipertensión"],
    "gustos": ["mediterráneo"],
    "no_gustos": ["picante"],
    "alergias": ["maní"]
  }
}
```

**Figura 4. Ejemplo de entrada para una receta nueva.**



```
{
  "receta_creada": {
    "nombre": "Arroz Mediterráneo con Vegetales y Huevo",
    "ingredientes_utilizados": ["arroz", "tomate", "zanahoria", "huevo"],
    "ingredientes_opcionales": ["queso rallado bajo en sodio"],
    "pasos": [
      "Cocer el arroz en agua sin sal adicional.",
      "Saltear tomate y zanahoria en aceite de oliva.",
      "Agregar el arroz cocido y mezclar.",
      "Incorporar huevo revuelto y cocinar hasta integrar.",
      "Servir con queso rallado bajo en sodio opcional."
    ],
    "valores_nutricionales_estimados": {
      "calorias": "450",
      "proteinas": "18g",
      "carbohidratos": "60g",
      "grasas": "12g",
      "fibra": "6g",
      "azucares": "5g",
      "sodio": "250mg"
    }
  },
  "comentarios_decisiones": [
    "Se evitó añadir sal por la condición de hipertensión.",
    "Se priorizó el estilo mediterráneo usando aceite de oliva y vegetales frescos."
  ],
  "recomendaciones_adicionales": [
    "Acompañar con ensalada fresca para mayor fibra.",
    "Se puede sustituir el huevo por legumbres para versión vegana."
  ]
}
```

**Figura 5. Ejemplo de salida con una receta nueva creada.**

**Sistema de validación**

Como toda respuesta que genera un modelo de inteligencia artificial hay que verificar los datos que brinda ante la solicitud, considerando que esta web app está destinado a la salud, hay que realizar un sistema defensivo que actúe como un "filtro de sentido común" entre la inteligencia artificial y el usuario final, priorizando la seguridad del usuario.
En este sistema de validación se divide en tres capas, permitiendo filtrar la respuesta antes situaciones críticas o de advertencias

**Capa 1: Validación de seguridad crítica**

Se valida:

- Alérgenos: Se cruza cada ingrediente generado por la IA con la lista de alergias

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



brindadas por el usuario. No solo se verifica el nombre exacto, sino que también la familia de alimentos. Figura 6.

- Técnicas peligrosas: Se identifica y bloquea instrucciones que impliquen un riesgo (Por ejemplo, usar métodos de cocción que dejen una cocción incompleta de carnes o que puedan causar incendios)




**Figura 6. Ejemplo validación crítica.**

Si estas validaciones fallan, se rechaza completamente y se le notifica al usuario del error crítico

**Capa 2: Validación de consistencia y sentido común**

Se valida:

- Existencia y cantidades plausibles de ingredientes: Se verifica que los ingredientes existen y que las cantidades sean razonables (Por ej., no aceptar: "10 kg de azúcar" para una receta con pocos comensales) como en la Figura 7.




**Figura 7. Ejemplo validación de consistencia.**

- Coherencia interna: Se asegura que los pasos de preparación mencionen los ingredientes listados y que las técnicas sean apropiadas para ellos

Si estas validaciones fallan, se genera una fuerte advertencia y se sugiere revisar o regenerar la receta

**Capa 3: Validación de adecuación al usuario**

Se valida:

- Gustos y aversiones: Se verifica que la receta no haya listado ingredientes o texturas que el usuario marcó como "no me gusta" como en la Figura 8.

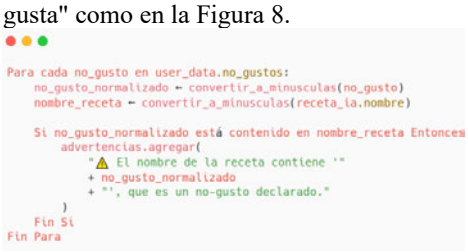



**Figura 8. Ejemplo validación de gustos.**

- Objetivos nutricionales: Verificar que la receta no contradiga los objetivos nutricionales (Por ej., si el usuario es diabético no debería brindar una receta alto en azúcar o agregar azúcares añadidos)

Si estas validaciones fallan, la receta es rechazada y se notifica al usuario sobre el error crítico.

Estas son las validaciones principales que se debe tener, cuidando la salud del usuario y luego brindar el servicio esperado.

**Rol de la base de datos**

La base de datos actúa como el libro de reglas del sistema. Proporcionará información confiable y verificada contra la cual contrastar las recetas generadas por la IA, para detectar errores y alucinaciones.

Su propósito central será servir como una autoridad confiable para que el sistema de validación pueda

1. Verificar ingredientes
2. Garantizar seguridad: Verificar si es un ingrediente alérgeno conocido o si pertenece a una familia de alérgenos
3. Establecer límites

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Caso de Estudio: Adaptación de un Cheesecake**

Para ilustrar el flujo de trabajo completo del sistema, se presenta un caso de estudio práctico utilizando el prototipo funcional desarrollado en Next.js. El objetivo es adaptar una receta de cheesecake tradicional para un usuario que ha seleccionado un objetivo "bajo en calorías".

El usuario comienza en la página de la receta "Cheesecake Clásico". La interfaz muestra los ingredientes, los pasos y una tabla con los valores nutricionales estimados por porción, que indican un alto contenido calórico y de azúcares como en la Figura 9.

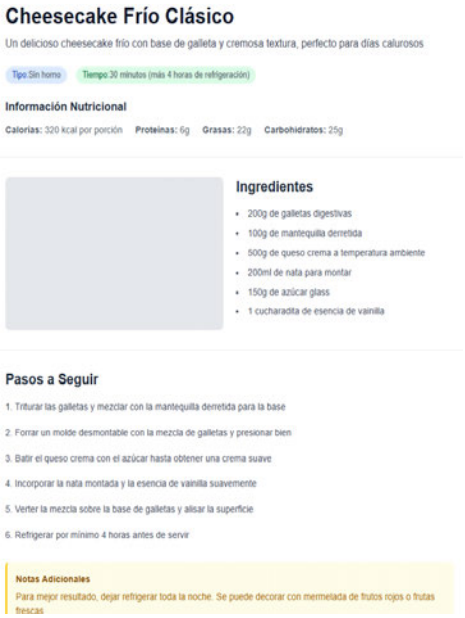



**Figura 9. Receta original.**

Debajo de la receta, el usuario encuentra un menú desplegable con la etiqueta "Seleccionar objetivo". Elige la opción "Bajo en Calorías" y presiona el botón "Adaptar Receta" como lo muestra la figura 10. El sistema envía la receta original y el objetivo del usuario a la API, que a su vez consulta al modelo de IA.




**Figura 10. Botón de adaptar receta.**

En segundos, la interfaz se actualiza dinámicamente sin recargar la página para mostrar la versión adaptada. Los cambios se visualizan de forma clara e intuitiva, como se muestra en la Figura 11 y 12.

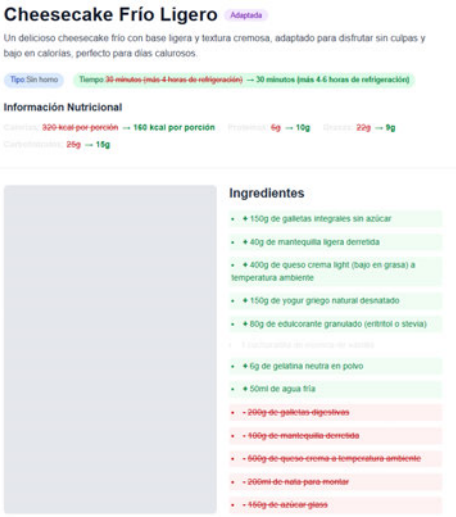



**Figura 11. Receta adaptada.**

Durante el proceso, el sistema de validación (actualmente en fase de diseño) está proyectado para actuar como una capa de seguridad. Por ejemplo, si la IA hubiera sugerido una cantidad anómala como "10 gramos de queso", la Capa 2 (Validación de consistencia) lo habría detectado. En la interfaz, se mostrará una advertencia al usuario, notificando la inconsistencia y sugiriendo regenerar la receta para obtener un resultado culinariamente coherente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



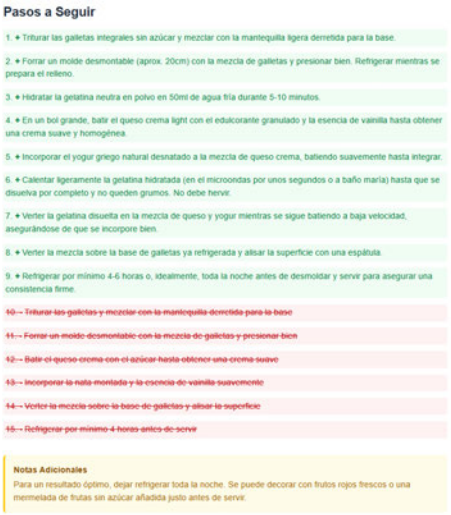



**Figura 12. Pasos de la receta adaptada.**

## Trabajos Relacionados

En los últimos años han aumentado las aplicaciones orientadas a la alimentación saludable, el seguimiento nutricional y la gestión de recetas. Estas herramientas, aunque útiles, presentan limitaciones importantes cuando se trata de adaptar recetas de forma automática, inteligente y personalizada en función de las necesidades nutricionales del usuario.

**Plataformas de recetas con filtros**

Páginas/Apps como Cookpad o Recetas Nestlé son las plataformas más populares para descubrir recetas. Permite aplicar filtros según preferencias alimentarias (como "sin gluten" o "bajo en carbohidratos"), pero su sistema es estático: no realiza adaptaciones dinámicas ni sugiere reemplazos inteligentes de ingredientes. Las proporciones tampoco se recalculan si se modifica un componente clave, lo que limita su capacidad de ofrecer personalización real.

Supercook es una de las mejores opciones para la sugerencia de recetas a partir de los ingredientes que hay en casa, pero no permite cargar datos de gustos o de salud de los usuarios para sugerir las recetas.

**Aplicaciones centradas en el seguimiento nutricional**

MyFitnessPal se destaca en el seguimiento calórico y la base de datos de alimentos, pero no incorpora funcionalidades culinarias ni permite adaptar recetas existentes. Requiere del usuario cierto conocimiento técnico para ingresar datos y realizar sustituciones por su cuenta, lo cual puede dificultar su uso por parte del público general o personas con escasa experiencia nutricional.

**Uso de modelos de IA generativa**

Con el auge de los modelos de lenguaje como Chat GPT o Gemini, algunos usuarios han comenzado a solicitar recomendaciones personalizadas para modificar recetas ("¿Cómo hacer panqueques sin huevos?", "¿Qué puedo usar en vez de crema?"). Si bien los modelos pueden ofrecer respuestas útiles, su uso exige una formulación precisa de la consulta, interpretación por parte del usuario y conocimientos básicos de cocina y nutrición. Además, estas herramientas no están integradas a una interfaz orientada a la práctica culinaria, ni automatizan el proceso de modificación y evaluación nutricional.

**Limitaciones comunes**

En conjunto, estas herramientas comparten una limitación central: la falta de automatización inteligente y personalizada en la adaptación de recetas. No existe, hasta el momento, una plataforma que combine el potencial de los modelos de lenguaje con un sistema estructurado de modificación nutricional contextual, accesible para usuarios sin conocimientos técnicos.

## Conclusión y Trabajos Futuros

El sistema presentado demuestra el potencial de integrar modelos de lenguaje en aplicaciones culinarias personalizadas, ofreciendo adaptaciones de recetas seguras y ajustadas a las necesidades de los usuarios. A diferencia de otras aplicaciones de recetas o seguimiento nutricional, la solución planteada integra un sistema de validación en múltiples capas que prioriza la seguridad del usuario y permite un grado de personalización difícil de lograr con herramientas actuales. Como limitación principal se resalta la dependencia en el motor de la inteligencia artificial tanto ante su inconsistencia como en la veracidad de las respuestas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Como trabajos futuros:

- Optimización del sistema de validación, incorporando análisis nutricionales más precisos y reglas adicionales para diferentes patologías.
- Retroalimentación continua: implementar un mecanismo mediante el cual las preferencias y comentarios de los usuarios definen tanto la base de datos como los prompts del modelo.
- Ampliación de funcionalidades: integración con aplicaciones móviles y generación de planes de comidas semanales.

En conjunto, estas propuestas futuras apuntan a consolidar el sistema como una herramienta confiable, adaptable y de gran valor práctico para los usuarios.

**Agradecimientos**

Agradecemos a los docentes y compañeros de la carrera de Licenciatura de Nutrición de la Universidad Nacional del Chaco Austral, quienes brindaron apoyo y sugerencias valiosas durante la elaboración de este trabajo.

**Referencias**

[1] Bazrafkan, L., et al. “Exploring Causes of Diet Abandonment in Overweight Adults: A Qualitative Study.” *BMC Nutrition*, vol. 7, 2021.
[2] Chauveau, P., et al. “Adherence to a Diet in the Management of Hypercholesterolemia: Barriers and Facilitators Identified by Patients.” *Médecine des Maladies Métaboliques*, vol. 14, no. 6, 2020.
[3] Butt, M. S., et al. “Oat: Unique among the Cereals.” *European Journal of Nutrition*, vol. 47, no. 2, 2008.
[4] Dalle Grave, R., et al. “Cognitive-Behavioral Strategies to Increase Adherence to Dietary Treatment.” *Journal of Psychosomatic Research*, vol. 68, no. 6, 2010.
[5] Boushey, C. J., et al. “The Use of Technology in Nutrition Research and Practice.” *The Journal of Nutrition*, vol. 147, no. 5, 2017.
[6] Vázquez-Naya, J. M., et al. “A Web System for Personalized Menu Planning and Dietary Advice.” *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 14, 2012.
[7] Sacks, F. M., et al. “Comparison of Weight-Loss Diets with Different Compositions of Fat, Protein, and Carbohydrates.” *The New England Journal of Medicine*, vol. 360, no. 9, 2009, pp. 859–873.
[8] J. S. Warner and T. S. Cheng, “Front-end Development with React and Next.js: Approaches for Modular and Scalable Interfaces,” *Journal of Web Engineering and Technology*, vol. 20. 2023.
[9] P. K. Chatterjee and A. K. Chaudhuri, “Design and Implementation of RESTful Web Services with Node.js and Express.js,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 182, no. 25, 2019.
[10] U. Saxena, “ACID Properties in SQL,” *Shiksha Online*, 22 Nov. 2022.
[11] B. Chen, Z. Zhang, N. Langrené and S. Zhu, “Unleashing the potential of prompt engineering in Large Language Models: a comprehensive review,” arXiv, 23 Oct. 2023.

**Datos de Contacto:**

*Perez Elias Daniel. Universidad Nacional del Chaco Austral. Comandante Fernández 755. Presidencia Roque Sáenz Peña – Chaco - Argentina. eliasdaniperez@gmail.com.*
*Medina Maira Rebeca. Universidad Nacional del Chaco Austral. Comandante Fernández 755. Presidencia Roque Sáenz Peña – Chaco - Argentina. mairarmedina@gmail.com.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Incorporando Inteligencia Artificial en una asignatura sobre Software de Fuentes Abiertas/Libre

**Moro, Emiliano - Sabena Coirazza, Nicolás**
***Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba,***
***Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información***

**Abstract**

El impacto tecnológico, económico y social de la Inteligencia Artificial (IA) hace necesaria y urgente su incorporación en los planes de estudio de las carreras de informática y sistemas. En particular, la asignatura electiva "Ingeniería de Software de Fuentes Abiertas/Libre" requiere, para su inclusión, un estudio y análisis profundo de las implicancias de los modelos de IA respecto de los conceptos y prácticas de libertad usuales en el software libre o de fuentes abiertas. Por esta razón se realizó un proyecto de investigación y desarrollo sobre la temática de la Inteligencia Artificial Libre o Abierta a fin de agregar material de estudio a dicha asignatura y habilitar el debate sobre la importancia de contar con tecnologías libres para el desarrollo científico y tecnológico independiente en nuestro país.

**Palabras Clave**

Inteligencia artificial, Software Libre, Software de Fuentes Abiertas, Ingeniería de Software, Ingeniería en Sistemas de Información.

## Introducción

En los últimos años, particularmente a partir del lanzamiento de Chat GPT en el año 2022, la utilización y el impacto tecnológico, económico y social de la Inteligencia Artificial (IA) han experimentado tal acelerado crecimiento que hace necesaria su incorporación en los planes de estudio de toda carrera de formación en informática y sistemas. Por su parte, la asignatura electiva "Ingeniería de Software de Fuentes Abiertas/Libre", de 5° nivel en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información de la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional, que propone la formación y discusión sobre los conceptos, historia e impacto del software libre y de fuentes abiertas en las metodologías de desarrollo y modelos de negocios, no hacía, hasta ahora, referencia a la Inteligencia Artificial. Es por esto que surge el proyecto de inclusión de la temática de la
Inteligencia Artificial Libre o Abierta en la mencionada asignatura.

El software libre se define, siguiendo a la Free Software Foundation (FSF)[1], como aquel software cuya licencia otorga a los usuarios las libertades de ejecutarlo para cualquier propósito, estudiarlo (para lo cual se requiere acceso al código fuente), modificarlo y redistribuir copias originales o modificadas. La versión de la Open Source Iniciative (OSI)[2] define al software de fuentes abiertas como aquel software cuya licencia cumple con diez criterios similares, los cuales incluyen la libre redistribución, la disponibilidad del código fuente, la posibilidad de realizar trabajos derivados, la no discriminación de personas/ámbitos de uso y neutralidad tecnológica, entre otros. Durante el cursado de la asignatura "Ingeniería de Software de Fuentes Abiertas/Libre", los y las estudiantes comparan ambos enfoques, aprenden la historia de cómo se crearon y evolucionaron ambos conceptos, estudian

[1] https://www.fsf.org/
[2] https://opensource.org/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



diferentes metodologías de desarrollo y gestión de comunidades aplicables a la creación de este tipo de software y cómo sus características impactan en su comercialización, llevando a la creación de diferentes modelos de negocios basados en software libre o de fuentes abiertas. Una actividad clave realizada por los y las estudiantes de la asignatura es la participación en una comunidad de desarrollo de software libre o de fuentes abiertas, analizando los aspectos de gobernanza, metodologías y herramientas de desarrollo y comunicación, licencias y modelos de negocios, y realizando un aporte al proyecto de la comunidad (que puede ser código corrigiendo un error o sumando una funcionalidad, detección de errores, documentación, traducción o incluso arte, tales como música o imágenes necesarias para el proyecto) [1]. Esta asignatura electiva, que se dicta desde el año 2015, no había incluido aún la temática de la Inteligencia Artificial, dada la complejidad de definir qué es una IA Libre o Abierta.

La IA, al pasar de ámbitos académicos y experimentales a la industria, el comercio, la educación y la vida cotidiana, se ha convertido en un componente central de nuestras vidas. Sin embargo, la mayoría de las herramientas de IA con éxito comercial se distribuyen actualmente bajo licencias no-libres (también llamadas privativas), lo que limita su transparencia y reproducibilidad, así como el acceso equitativo a estas tecnologías. La concentración de recursos, poder y conocimiento en manos de unas pocas grandes corporaciones tecnológicas ha creado un ecosistema con asimetrías significativas en el acceso, a las que la IA, con su complejidad, costo computacional y opacidad en el funcionamiento solo ha profundizado. Las comunidades académicas y profesionales requieren acceso abierto a herramientas de IA para investigación, docencia y desarrollo de soluciones adaptadas a contextos locales, pero la situación actual plantea desafíos a la equidad y la democratización de la tecnología. Las IA propiedad de unos pocos perpetúan y amplifican sesgos existentes, inequidades y su aplicación a fines que no benefician a la sociedad en su conjunto. Consideramos que la libre accesibilidad al uso y adaptación de los modelos de IA son pilares fundamentales para fomentar la innovación inclusiva y garantizar que los beneficios de esta tecnología se distribuyan de manera equitativa, en lugar de quedar confinados en unos pocos centros de poder.

Es en este marco que surge el interés por analizar las posibilidades de una IA libre o abierta, entendida como aquella que se apoya en los principios del software libre o de fuentes abiertas: libertad de uso, licencias permisivas y acceso a la información que permita su modificación. El primer escollo que aparece es la diferencia de los modelos de IA que, aún siendo software, no tienen la característica de poseer un “código fuente” capaz de ser revisado, entendido y modificado con las herramientas usuales. Además, aparecen otros componentes, tales como los datos de entrenamiento, los parámetros y sus pesos.

Por todo esto, la incorporación del estudio de la IA libre o abierta a la asignatura en cuestión requirió un trabajo de investigación, análisis y desarrollo de material que fue realizado en el marco del proyecto asociado a las Becas Estratégicas Manuel Belgrano de los participantes (y autores de este trabajo), bajo la dirección del profesor responsable de la asignatura.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En este trabajo, no solo abordamos la pregunta sobre la viabilidad de una IA libre o abierta, sino que también presentamos el proceso de investigación que requirió la exploración de las herramientas y métodos utilizados para la creación y aplicación de modelos de IA —desde los datos de entrenamiento hasta las arquitecturas de modelos— y su relación con los principios del software libre.

Nuestra investigación planteó la pregunta central: ¿es posible desarrollar y distribuir una Inteligencia Artificial libre/abierta? A través de este interrogante buscamos reflexionar sobre los alcances y limitaciones de la apertura en IA, considerando tanto sus aspectos técnicos como sus implicancias éticas y políticas. Además, buscamos clarificar su impacto en la educación e investigación, áreas donde el acceso abierto se vuelve especialmente crítico, y analizar los modelos de negocio asociados. La investigación se desarrolló a través de un proceso de aprendizaje y colaboración continua, en el que el equipo de tres personas se reunió semanalmente de forma remota para explorar la intersección entre la IA y el software libre y de fuentes abiertas. Estas sesiones no fueron solo un espacio de debate, sino un verdadero viaje intelectual que nos permitió profundizar en conceptos complejos y entender sus implicancias en el mundo real.

El primer paso fue acceder a material bibliográfico y analizarlo desde el punto de vista de la libertad de los modelos de IA, tanto en su proceso de creación como de distribución y uso. Intentando comprender mejor por qué una IA no puede considerarse un software convencional, recorrimos brevemente su historia y los hitos que marcaron su evolución realizando una lectura crítica de la influyente obra *Atlas de la IA* de Kate Crawford [2]. En particular nos enfocamos en temas como el sesgo algorítmico y la clasificación de datos, lo que llevó a discutir cómo la falta de transparencia en los modelos y la concentración en la propiedad de los datos pueden perpetuar desigualdades sociales y reforzar estereotipos. Esta reflexión nos llevó también a un análisis del problema del acceso al poder de cómputo, un obstáculo significativo que excluye a la mayoría de la población del desarrollo, y las estrategias posibles para superar tales limitaciones, presentadas en una conferencia por Matías Bordone [3]. Por otra parte, luego de observar el impacto de la IA en el desarrollo del software libre y de fuentes abiertas, en base al artículo de Ahuja, Clark y Wurtenberg [4], recorrimos el camino inverso, utilizando los recientes trabajos de Kshetri [5] y Maheshwari [6] para entender el impacto del software libre y de fuentes abiertas en el desarrollo de los modelos de IA, tanto en sus aspectos económicos como de apoyo a la innovación. Finalmente, analizamos la tensión entre las aplicaciones académicas de IA y los intereses y objetivos de las grandes empresas tecnológicas en base al trabajo de Borjk [7].

En ese momento consideramos que a fin de comprender cabalmente el estado actual de la IA es necesario revisar los orígenes y la historia de esta tecnología, y su particular sucesión de ciclos de optimismo y desilusión, impulsados por cambios en el enfoque y los recursos disponibles.

**1. Los inicios y la Lógica Simbólica (1950s - 1970s):** La IA tiene sus raíces en las ideas de pioneros como Alan Turing, quien en su artículo seminal de 1950 [8] propuso el famoso *Test de Turing* (o *The Imitation Game*) considerando que una máquina exhibe un comportamiento

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



inteligente si es indistinguible del de un humano. Sin embargo, el nacimiento formal de la disciplina ocurrió en la Conferencia de Dartmouth de 1956, organizada por John McCarthy, quien acuñó el término "Inteligencia Artificial".

En esta etapa temprana predominaban los sistemas de razonamiento, basados en reglas lógicas y conocimiento explícito. El sistema recibía premisas y aplicaba mecanismos de inferencia para obtener conclusiones. Su fortaleza era la transparencia —era posible explicar cómo se llegaba a un resultado—, aunque mostraban severas limitaciones frente a problemas abiertos o mal definidos.

Durante este periodo McCulloch y Pitts [9] propusieron el primer modelo matemático de una *neurona artificial*. Este modelo imita en una forma simplificada el funcionamiento de las neuronas biológicas, estableciendo una base teórica para la computación neuronal. Su objetivo era demostrar que una red de estas neuronas artificiales, interconectadas, podía realizar cualquier cálculo computable. Este modelo obtiene una salida ($o$) en base a la fórmula $o=s(w_1x_1+...+w_nx_n-\theta)$, donde $x_i$ son las variables de entrada o parámetros, $w_i$ los pesos que representan la fuerza de cada conexión, $\theta$ un umbral que determina si la neurona se "activa" y $s$ una función de activación no lineal que procesa la suma ponderada de las entradas.

Las aplicaciones iniciales de este concepto se limitaron a la implementación de funciones lógicas y cálculo proposicional, demostrando que era un equivalente a un Autómata Finito. Aunque rudimentario en comparación con los modelos actuales, la neurona de McCulloch-Pitts fue la primera pieza que dio lugar a las redes neuronales que dominan la IA hoy en día.

**2. El "Invierno de la IA" (1970s - 1980s):** La falta de resultados prácticos y la imposibilidad de reducir la complejidad del mundo real a reglas simples llevaron a una desilusión generalizada y a una drástica reducción del financiamiento, producieno un periodo de estancamiento.

**3. El renacimiento del Aprendizaje Automático (1990s - 2010s):** La disciplina resurge con un nuevo enfoque, el *Machine Learning* (aprendizaje automático), basado en un concepto anterior, las redes de neuronas artificiales o *redes neuronales*. En lugar de programar reglas explícitas, las redes neuronales se entrenan con cantidades inmensas de datos que le permite detectar patrones de manera autónoma. Sus características comunes incluyen el uso de conjuntos de entrenamiento, algoritmos que ajustan parámetros y tareas como clasificación o predicción.

Un hito clave de este periodo fue la victoria de la supercomputadora *Deep Blue* de IBM sobre Garry Kasparov en 1997, que demostró la efectividad del nuevo paradigma.

**4. La era del Aprendizaje Profundo (2010s - actualidad):** El auge del *Deep Learning* (aprendizaje profundo), una rama del aprendizaje automático que utiliza redes neuronales con múltiples capas, marcó la siguiente gran transformación. Lo distintivo de este enfoque es su capacidad de procesar directamente datos complejos —imágenes, audio, texto— y aprender representaciones jerárquicas de ellos. Esto le permitió lograr resultados sin precedentes en tareas de visión, lenguaje y reconocimiento de voz.

La victoria de *AlphaGo* de Google sobre el campeón mundial de Go en 2016 simbolizó el potencial del aprendizaje profundo. Hoy, la disponibilidad de datos y el poder de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cómputo han dado lugar a los Grandes Modelos de Lenguaje (LLM), que sitúan a la IA en el centro de la conversación tecnológica y social.

**5. La irrupción de la IA Generativa (2020s - actualidad):** En los últimos años ha emergido una categoría distinta: la IA Generativa, basada en arquitecturas modernas como los *Transformers* [10]. A diferencia de los enfoques anteriores, no solo analiza o predice, sino que crea: texto, imágenes, música o código. Estos modelos comparten el uso de volúmenes masivos de datos para entrenarse y la capacidad de generar contenidos nuevos que imitan los estilos y estructuras de la información con la que fueron entrenados.

Analizando la historia de la IA, puede determinarse que el desarrollo de esta tecnología dio un giro fundamental con la aplicación de técnicas de *Machine Learning* a las redes neuronales. Esto representa un cambio radical respecto del software tradicional: en lugar de ser programadas con instrucciones explícitas para cada tarea, las máquinas de IA son diseñadas para aprender en forma autónoma y crear "modelos de IA" que pueden reconocer (y construir en base a) patrones de las enormes cantidades de datos que les fueron provistos.

Así, los componentes principales del Machine Learning son:

- Tipo de Modelo: Se refiere a la estructura matemática o algorítmica elegida, como los modelos para Regresión (predicción de valores continuos) o Clasificación (asignación a categorías discretas).
- Datos de entrenamiento: Conjuntos de información con los que el modelo aprende. Cuantos más y de mayor calidad sean los datos, mejor será el aprendizaje.
- Parámetros y sus pesos: Variables de entrada de las neuronas de la red y los pesos, que son ajustados durante el entrenamiento para adaptar el modelo a los datos.
- Algoritmo de aprendizaje: Las instrucciones que el modelo utiliza para ajustar sus parámetros basándose en los datos y mejorar su rendimiento.

Esta tecnología, en particular en su versión de *Deep Learning* y los *Grandes Modelos de Lenguaje*, es la que subyace en gran parte de la IA Generativa y Conversacional que impacta hoy en tantos aspectos sociales, económicos y productivos de nuestras vidas.

Con esto en mente, nos preguntamos qué ocurre al trasladar las reglas del software libre y de fuentes abiertas al campo de la inteligencia artificial. Allí emerge la diferencia crucial: además del modelo, el cual no puede analizarse desde el punto de vista del código fuente, el comportamiento de una IA depende de los componentes adicionales ya mencionados: los datos de entrenamiento, los parámetros, sus pesos aprendidos y las herramientas utilizadas durante el proceso de entrenamiento.

La OSI (Open Source Initiative), a fines de 2024 puso a consideración de toda la comunidad la primera versión de la Open Source AI Definition [11]. Esta definición es fundamental porque extiende los principios ya establecidos para el software de código abierto a los componentes específicos de los sistemas de inteligencia artificial, buscando claridad en un dominio donde la distinción entre código, datos y modelos es crucial. Debe destacarse que los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



requerimientos de esta definición se aplican a la totalidad del sistema de IA.

Central a esta definición, se otorgan las cuatro libertades esenciales del software libre, aunque adaptadas al contexto de la IA:

**Usarlo para cualquier propósito:** Los usuarios deben tener la libertad de ejecutar el sistema de IA para cualquier fin deseado, sin restricciones arbitrarias.

**Estudiar cómo funciona e inspeccionar sus componentes:** Esto implica la capacidad de acceder y entender el código fuente, los datos de entrenamiento, los modelos, los pesos y los parámetros, permitiendo la transparencia y la auditoría.

**Modificarlo con cualquier propósito:** Los usuarios deben poder adaptar, mejorar o transformar el sistema de IA para sus propias necesidades.

**Compartirlo con otros con o sin modificaciones:** La libertad de distribuir el sistema de IA, en su forma original o con modificaciones, fomentando la colaboración y la difusión del conocimiento.

Como precondición indispensable, la definición establece que, para que una IA sea verdaderamente libre, se debe tener acceso a los “modos y herramientas necesarios para modificar el sistema”. Esto incluye no solo el código, sino también la infraestructura y las metodologías que permiten alterar y entrenar nuevamente el modelo, asegurando una verdadera autonomía para el usuario y la comunidad. Esta condición es uno de los puntos más críticos y complejos, ya que va mucho más allá de simplemente disponer del código fuente del algoritmo e incluye:

**Información sobre los datos de entrenamiento.** Es indispensable tener información completa sobre los datos con los que fue entrenado el modelo:

- Su origen, el proceso de selección, etiquetado y filtrado que se aplicó.
- Si los datos están disponibles públicamente, o si son datos de terceros, y en ese caso, dónde y cómo obtenerlos legal y técnicamente.

**Código utilizado para entrenarlo.** Además del código del modelo en sí, es crucial tener acceso al software utilizado en el *pipeline* de desarrollo del modelo:

- El código para el procesamiento y filtrado de datos, que puede afectar drásticamente el comportamiento del modelo.
- Los argumentos y configuraciones exactas del entrenamiento, incluyendo hiperparámetros.
- El código de validación y prueba.
- Las bibliotecas de soporte y sus versiones.
- El código de inferencia y, fundamentalmente, la arquitectura del modelo.

**Parámetros, pesos y configuraciones.** Se requiere acceso directo a los parámetros y pesos específicos que el modelo aprendió durante su entrenamiento. Estos valores numéricos son la "memoria" y la "inteligencia" del modelo, y sin ellos, incluso con el código y los datos, el modelo no funcionaría. Junto con las configuraciones finales, estos elementos completan el rompecabezas para una modificación significativa.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esta definición de la OSI, aún en discusión por la comunidad, busca establecer un estándar para una IA que sea verdaderamente abierta y democratizada.

En los últimos años, cada vez más proyectos han comenzado a publicar abiertamente el código que sustenta sus modelos de inteligencia artificial, lo que representa un avance importante hacia la transparencia [12]. No obstante, esta apertura por sí sola no garantiza que los sistemas puedan ser replicados, auditados o mejorados. El núcleo de la IA no está únicamente en el software sino en los conjuntos de datos utilizados para entrenar los modelos y en los parámetros aprendidos durante ese proceso. Sin acceso a estos elementos es imposible reproducir el funcionamiento completo, comprender las decisiones del sistema o adaptarlo a otros contextos. A esto se suma la complejidad del régimen de licencias: aunque algunas iniciativas adoptan licencias abiertas inspiradas en las de software de Fuentes Abiertas (como Apache 2.0 o MIT), otras incorporan restricciones de propósito, escala o uso comercial que contradicen, al menos parcialmente, los principios del software libre y limitan la creación de un ecosistema plenamente abierto.

El acceso a los datos de entrenamiento y a la infraestructura necesaria para procesarlos constituye, probablemente, la barrera más significativa para materializar una IA libre. Los modelos de vanguardia dependen de volúmenes masivos de información cuya recolección, curación y licenciamiento suelen estar concentrados en manos de grandes corporaciones extranjeras. Esta falta de acceso dificulta la posibilidad de reproducir los modelos, auditar su funcionamiento o desarrollar alternativas locales, y plantea riesgos éticos vinculados a la privacidad, el consentimiento y los sesgos en los datos. A ello se suma la concentración del poder computacional: entrenar y desplegar sistemas avanzados requiere clusters de GPUs o TPUs cuyo coste está fuera del alcance de universidades, gobiernos y comunidades más pequeñas.

Como parte del proyecto de investigación volcamos todos estos aprendizajes en material para la última clase de la asignatura “Ingeniería de Software de Fuentes Abiertas/Libre”, en la que se trataría el tema de la IA libre/abierta. Finalmente, para compartir y validar nuestro aprendizaje, y con el permiso de las autoridades del Departamento reemplazamos la clase final de la asignatura por una clase abierta e invitamos a dos estudiosos del tema a exponer sus opiniones. Este evento sirvió como plataforma para exponer las conclusiones de nuestro estudio, cubriendo la historia de la IA, las tecnologías involucradas y cómo impactan en las libertades esenciales del software, y presentamos una taxonomía de los modelos de IA considerados "libres" hasta la fecha.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El impacto social, económico y productivo de la Inteligencia Artificial (IA) exige su incorporación en los planes de estudio de toda carrera de formación en informática y sistemas, y en particular en la asignatura electiva “Ingeniería de Software de Fuentes Abiertas/Libre”. Para lo cual se conformó un equipo de trabajo formado por el docente responsable de la asignatura y dos becarios del Programa de Becas Estratégicas Manuel Belgrano, quienes realizaron un trabajo de investigación, análisis y desarrollo abordando la pregunta sobre la viabilidad de una IA libre o abierta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Como resultado, se desarrolló una clase abierta como evento final del dictado de la asignatura, a la cual fueron invitados como expositores dos estudiosos del tema que expusieron sus opiniones y se generó un vivo debate sobre las tecnologías involucradas y su impacto en la libertad del software. Podemos decir que a través de este proceso de investigación y difusión, no solo consolidamos nuestro propio conocimiento, sino que también buscamos inspirar a la comunidad académica a reflexionar sobre la importancia de una IA más abierta, ética y accesible para todos.

A futuro se piensa llevar al terreno práctico lo aprendido en este proyecto, aplicando IA en la asignatura. Para ello nos proponemos los siguientes pasos.

1. Estudiar cómo y en qué se puede utilizar la IA en la educación en general.
2. Investigar cómo y en qué se puede usar IA en la asignatura de Ingeniería de Software de Fuentes Abiertas/Libre.
3. Determinar qué actividades con IA son factibles de realizar en la asignatura, teniendo en cuenta los recursos y las limitaciones de la misma.
4. Planificar y ejecutar un proyecto de inclusión de IA en la asignatura.

**Agradecimientos**

Agradecemos a la UTN - Facultad Regional Córdoba y a la cátedra de Ingeniería de Software de Fuentes Abiertas/Libre por su apoyo.

Extendemos nuestro agradecimiento a los disertantes invitados y a todos los participantes de la clase abierta, cuyo intercambio de ideas enriqueció este trabajo.

**Referencias**

[1] Medel, R. (2018). *Participación de los estudiantes en una comunidad de software libre como criterio de evaluación*. VI Jornada de Enseñanza de la Ingeniería - JEIN 2018. Córdoba, Argentina.

[2] Crawford, K. (2023). *Atlas de inteligencia artificial: Poder, política y costos planetarios*. Fondo de Cultura Económica Argentina.

[3] Bordone, M.E. (2024). *Buscando una IA libre y cyberciruja*. 2º Encuentro Federal Cyberciruja, Rosario. https://mebordone.com.ar/2024/09/01/buscandouna-ia-libre-y-cyberciruja-2o-encuentro-federalcyberciruja/

[4] Ahuja, V. K., Clark, J., WurtenBerg, J. (2025). Impact of Artificial Intelligence on Open-Source Software Development. *The International FLAIRS Conference Proceedings*, 38(1). https://doi.org/10.32473/flairs.38.1.139001

[5] Kshetri, N. (2025). Economics of Open Source Software and AI Models. *Computer*, vol. 58, no. 1, pp. 134-141. Doi: 10.1109/MC.2024.3488974.

[6] Maheshwari, C. (2025). Beyond Proprietary: How Open-Source Software Accelerates Machine Learning Innovation. *International Journal on Science and Technology*, vol. 16, issue 1, JanuaryMarch 2025. https://doi.org/10.71097/IJSAT.v16.i1.3018

[7] Bjork, C. (2024). *Big AI Companies Need Higher Ed … but Does Higher Ed Need Them?* Inside Higher Ed. https://www.insidehighered.com/opinion/views/2024/12/02/universities-must-beware-reliance-big-aiopinion

[8] Turing, A. M. (1950). I.-Computing Machinery and Intelligence. Mind LIX (236): 433-460. doi:10.1093/mind/lix.236.433

[9] McCulloch, W.S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 1990;52(12):99-115. https://doi.org/10.1007/BF02478259

[10] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, Ł., Polosukhin, I. (2017). *Attention is All you Need*. En Guyon, I., Von Luxburg, U., Bengio, S., Wallach, H., Fergus, R., Vishwanathan, S., Garnett, R. (ed.). *31st Conference on Neural Information Processing*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Systems (NIPS). Advances in Neural Information Processing Systems.* Vol. 30. Curran Associates, Inc. arXiv:1706.03762.

[11] Open Source Intiative. (2024). *THE OPEN SOURCE AI DEFINITION 1.0* https://opensource.org/ai/open-source-ai-definition (última revisión 11/09/2025).

[12] Kaur, D. (2025). *The China open-source AI revolution that's rattling Silicon Valley.* Techwire Asia. techwireasia.com/2025/07/china-open-sourceai-models-global-rankings/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Implementación multiplataforma de una solución utilizando visión artificial orientada al reconocimiento y clasificación de granos de arroz

**Castro, Mauricio Nicolás; Beneyto, Mateo; Cleva, Mario Sergio**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia, Chaco, Argentina***
***Centro de Investigación Aplicada en Tecnologías de la Información y Comunicación (CInApTIC)***

**Abstract**
*El presente trabajo aborda el desarrollo de una solución tecnológica de bajo costo para el reconocimiento y clasificación de granos de arroz mediante visión por computadora. Frente a la dificultad y el tiempo que demandan los métodos manuales, a los elevados costos y complejidad de maquinaria especializada, y la posibilidad de prescindir de recursos humanos especializados en procesos operativos, se diseñó un sistema basado en software libre y hardware accesible. La propuesta consiste en una cinta transportadora que posibilita la disposición controlada de los granos y su captura visual a través de una webcam o dispositivo móvil. La aplicación, implementada en C++ con Qt para escritorio y en Kotlin Multiplatform para móviles, utiliza la librería OpenCV bajo una arquitectura multicapa que integra módulos de detección, seguimiento y medición. El sistema aplica un pipeline de filtros (Canal rojo, filtrado gaussiano, binarización de Otsu, operaciones morfológicas y algoritmo Canny), seguido de un proceso de validación espacial y temporal apoyado en filtros de Kalman y el algoritmo Húngaro para garantizar la coherencia en el seguimiento. Las mediciones de la longitud del eje mayor y área permiten calcular estadísticas de clasificación, identificando granos partidos y estimando la masa de acuerdo con el Código Alimentario Argentino. Los resultados confirman la viabilidad de un sistema preciso, accesible y adaptable, capaz de democratizar tecnologías de visión artificial en contextos agrícolas y de investigación. Finalmente, se plantean líneas futuras de mejora vinculadas a la integración multiplataforma, procesamiento en la nube y adopción de técnicas avanzadas de segmentación.*

**Palabras Clave**
Procesamiento digital de imágenes; hardware de bajo costo; escala milímetro por píxel; filtro de Kalman; algoritmo húngaro.

## Introducción

En la actualidad, el modelado morfológico, el reconocimiento y la clasificación de granos de arroz se realizan principalmente por medio de métodos manuales, lo cual implica un gran esfuerzo y un considerable consumo de tiempo, sumado a que implica el uso de recursos humanos expertos que podrían ser aprovechados en áreas no operativas. Como alternativa, existen maquinarias especializadas que permiten automatizar estas tareas, aunque su utilización conlleva elevados costos, además de complejidades de uso y de mantenimiento. Ante esta problemática, se planteó como objetivo el desarrollo de un método basado en software de libre distribución y hardware de bajo costo, que permita ofrecer un reemplazo eficiente y preciso de los métodos manuales o de maquinaria especializada pero costosa, logrando que, sin un gran gasto ni la necesidad de adquirir nuevos, poder realizar las mismas mediciones, inclusive en computadoras o celulares antiguos.

En el marco de un proyecto de investigación acerca de una solución basada en el diseño de una cinta transportadora de escritorio, sobre la cual se disponen los granos de arroz de manera controlada, evitando su solapamiento y garantizando así condiciones adecuadas para la captura de imágenes, se implementó un sistema de adquisición visual mediante una webcam conectada a una computadora o, de forma alternativa, un dispositivo móvil, lo que posibilita la obtención de las imágenes requeridas para el procesamiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



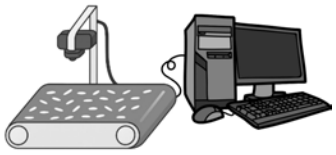


Figura 1 – Cinta transportadora con webcam conectada a un equipo

Esta investigación se realizó utilizando granos de arroz postcosecha, previos a la etapa de pulido, pero también los granos ya pulidos. Para la prueba de la aplicación utilizamos nuestros propios dispositivos móviles y webcams disponibles.

La aplicación que estamos desarrollando se apoya en la librería de código abierto OpenCV, ampliamente utilizada en el ámbito del procesamiento digital de imágenes. La arquitectura del software se organiza en capas, donde cada una de ellas aborda una etapa específica del tratamiento de la información. Los resultados parciales generados en cada fase son presentados en ventanas independientes y transmitidos a otras capas, conformando un flujo continuo de procesamiento.

En relación con la aplicación móvil, se desarrolló en Kotlin Multiplatform utilizando Android Studio, con el propósito de favorecer su democratización. Este lenguaje permite aprovechar un mismo código base para desplegar aplicaciones en dispositivos Android e iOS, lo que amplía el número de potenciales usuarios. Por otro lado, la aplicación de escritorio fue implementada en C++ para el sistema operativo Windows, dado que este lenguaje proporciona una optimización superior de los recursos, tanto en la utilización de la librería OpenCV para el procesamiento de imágenes como en los cálculos internos de la aplicación.

Gracias a ello, la herramienta puede ejecutarse correctamente incluso en computadoras con recursos limitados, lo que refuerza su carácter accesible y de bajo costo. Para la implementación de las ventanas y pestañas, en las cuales se representan las diferentes capas de la arquitectura, se recurrió a la librería Qt, que facilita la construcción de interfaces gráficas.

La arquitectura contempla un total de cinco capas. Dos de ellas se destinan al proceso de depuración: una para la selección de la fuente de video (que permite alternar entre la webcam y archivos precargados) y otra para la visualización general de los filtros, lo cual facilita el ajuste de parámetros y garantiza una mejor aplicación de los mismos. Las tres capas restantes (Figura 1) se orientan a la visualización para el usuario y corresponden a la selección de referencia, el seguimiento y las estadísticas.

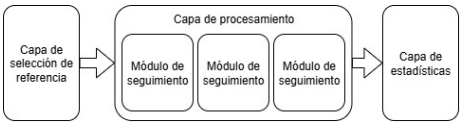



Figura 1 – Diagramas de capas.



Figura 2 - Pipeline de procesamiento de imágenes, parte de la imagen real (a) y la separa en los canales verde (b), rojo (c) y azul (d), de estas la que presenta mayor contraste grano-fondo es la del canal rojo, se binariza por otsu (e) y se aplican operaciones morfológicas para eliminar cualquier desperfecto, luego se aplica un overlay sobre la imagen original (f) para la verificación visual

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En una primera instancia, se diseñó una pipeline de filtros (Figura 2) para el tratamiento de la imagen. El proceso comienza con la extracción del canal rojo, que ofrece mayor contraste entre los granos y el fondo azul. Posteriormente, se aplica un filtro gaussiano para difuminar la imagen y eliminar ruido visual. A continuación, se ejecuta un algoritmo de binarización de Otsu, que minimiza la varianza intraclase y, gracias al marcado contraste entre los objetos y el fondo, genera resultados cercanos a una binarización perfecta. Una vez binarizada la imagen, se aplican operaciones morfológicas de apertura y clausura con el fin de corregir imperfecciones internas como pequeños agujeros y de eliminar objetos no deseados que puedan afectar el procesamiento final (pelusas, basura, restos, etc.). Finalmente, se utiliza el algoritmo de Canny para la detección de bordes, lo que permite delimitar con precisión la forma de los granos, mostrando ese borde sobre la imagen original.

La capa de selección de referencia se fundamenta en la posibilidad de que el usuario realice un clic sobre una sección del video capturado por la cámara. A partir de este punto de referencia, el pipeline de filtros se aplica para identificar los objetos presentes. Una vez determinados, el programa reconoce el objeto seleccionado y calcula la longitud de su eje mayor, solicitando al usuario que ingrese el valor real obtenido previamente con un método preciso, a fin de alcanzar la máxima precisión posible. Esta comparación se emplea para calcular el factor escala en milímetros por píxel (mm/px), la cual permite transformar las mediciones obtenidas en la imagen hacia unidades métricas útiles para el usuario final. En esta etapa inicial se emplea una moneda como referencia, por tratarse de un objeto circular y estandarizado en cada país; no obstante, se proyecta incorporar otros objetos estandarizados, como una hoja A4 —de aceptación global—. Asimismo, considerando que la cinta transportadora mencionada previamente se encuentra diseñada en 3D para su impresión exacta, la distancia entre la cámara y la cinta es un valor conocido, lo que permitiría pre-calcular el factor escala. Este factor escala se transmite como parámetro a las demás capas del sistema, garantizando así la coherencia de las mediciones posteriores.

En la capa de procesamiento, la arquitectura incluye tres módulos principales: detección, seguimiento y medición. En el módulo de detección, el pipeline de preprocesamiento y segmentación previamente descrita produce los contornos que delimitan los objetos de interés. A partir de ellos se calculan las propiedades geométricas mínimas necesarias —rectángulo delimitador (bounding box) y centroide—, que luego se someten a un criterio de validación basado en un umbral de tamaño (para descartar objetos no válidos) y en un filtro espacial (excluyendo bordes, orientado a que no se detecten objetos parciales). Solo los contornos que satisfacen simultáneamente ambas condiciones se consideran detecciones válidas y se transmiten al módulo de seguimiento.

Este último módulo aborda el desafío fundamental de mantener la identidad única de cada grano a medida que se desplaza en el tiempo. Al darle continuidad a cada entidad detectada, se evita que el sistema trate los fotogramas de manera aislada, lo que generaría conteos erróneos, mediciones duplicadas y la imposibilidad de realizar un análisis de calidad individualizado. Para ello, cada contorno validado se convierte en un candidato de seguimiento siempre que cumpla con dos condiciones simultáneas: un área compatible con la de un grano real y un centroide claramente ubicado dentro de la región válida de la escena, es decir, dentro

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de los límites definidos por la línea de exclusión y alejado de sus márgenes. Las detecciones válidas iniciales se utilizan para instanciar nuevos seguimientos, cada uno asociado a una trayectoria modelada mediante un filtro de Kalman [1]. Dicho filtro predice la posición esperada de los objetos a partir de la estimación previa de su estado (posición y velocidad). Estas predicciones se contrastan con las nuevas detecciones obtenidas en cada cuadro, construyéndose una matriz de costo que integra la distancia euclídea entre centroides y el índice de solapamiento entre cajas delimitadoras (IoU, intersección sobre unión). Para evitar asociaciones inverosímiles, se aplica un criterio de gating que descarta las combinaciones que no cumplen umbrales mínimos de proximidad o superposición. Sobre la matriz resultante, el algoritmo Húngaro [1] resuelve el problema de asignación de manera óptima, garantizando la correspondencia global más consistente entre detecciones y seguimientos. Como resultado, los seguimientos asignados corrigen su estado con las nuevas mediciones, se generan nuevas trayectorias para las detecciones no asociadas y se eliminan aquellas que permanecen inactivas durante un número prolongado de fotogramas. De esta manera, se asegura la persistencia de la identidad de los objetos a lo largo de la secuencia temporal.

En el módulo de medición, se calcula la longitud del eje mayor de cada grano. Para este fin, se compararon tres métodos: la elipse que mejor se ajusta, el rectángulo que mejor se ajusta y la medición de la mayor distancia entre dos puntos del contorno. Tras un análisis preliminar, se concluyó que el método más preciso es el de la elipse que mejor se ajusta. Además, se obtiene el área de cada grano, dato que resulta útil para el cálculo de otras magnitudes.

La capa de estadísticas recopila los resultados y calcula el promedio de las longitudes de los ejes mayores de los granos, así como el área total de la muestra. Estos valores se emplean para la clasificación, permitiendo identificar granos partidos y calcular la masa a partir de la relación lineal existente entre el área proyectada de un grano y su masa real, la cual fue determinada empíricamente para cada variedad de grano, como los pulidos [2] (Figura 2).

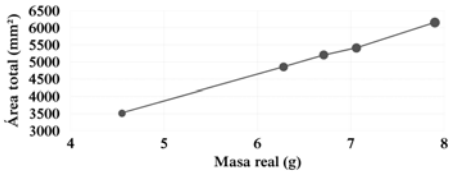



Figura 2 –Validación lineal entre el área proyectada y la masa de los granos pulidos. [1]

A partir de estos cálculos se determina el porcentaje de granos partidos en función de la masa, de acuerdo con lo establecido en el Código Alimentario Argentino. Asimismo, esta capa indica el número total de granos procesados, lo que la convierte en la más relevante para el usuario final, al proporcionar información sintetizada y clasificaciones automáticas de utilidad práctica para saber la calidad de la muestra.

Debido a que el contexto donde será utilizada la herramienta, es decir la cinta transportadora, todavía no fue desarrollada, no se pudo realizar una validación adecuada. Sin embargo, la herramienta fue probada con imágenes y videos pregrabados, logrando un buen funcionamiento.

**Trabajos Relacionados**

Debido a que esta investigación se deriva de investigaciones previas realizadas en el grupo de investigación donde se desarrolla la misma, sumado a que se presentó los avances y etapas de la investigación en otros congresos, este trabajo está

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



relacionado con el Desarrollo de una Herramienta Móvil de Bajo Costo para la Caracterización Morfológica de Granos de Arroz Procesamiento de Imágenes Digitales [3], Reconocimiento Morfológico de Granos de Arroz mediante Procesamiento de Imágenes con Tecnologías Accesibles [4] y Técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes para la Estimación del Peso de Granos de Arroz Cáscara [2].
En los trabajos previos se trató sobre el procesamiento de una imagen estática de los granos de arroz para poder caracterizar el conjunto de los mismos. En este trabajo profundizamos en el contexto donde va a ser utilizada esta herramienta, en el seguimiento de los granos y el objetivo final toda la investigación.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Se ha desarrollado una herramienta precisa que puede utilizarse tanto en el contexto de la cinta transportadora como en otros escenarios, siempre que se cumpla la condición de contar con las condiciones de captura y escena. El sistema admite el uso de una webcam conectadas a una aplicación de escritorio o de dispositivos móviles Android e iOS, y presenta un consumo moderado de recursos, lo que favorece su accesibilidad. De esta forma, se logra democratizar el uso de tecnologías de visión artificial, constituyendo una alternativa válida frente a maquinarias costosas o procedimientos manuales laboriosos, no adoleciendo de la variabilidad inter e intraoperador, no dependiendo de quién ni en qué contexto lo haga. Asimismo, el trabajo de investigación derivó en múltiples implementaciones útiles de algoritmos para la extracción de características de los granos.

Finalmente, como líneas de investigación futura se plantea la extensión de la aplicación de escritorio a sistemas operativos Linux y MacOS, el desarrollo de una API que permita procesar imágenes en la nube sin depender del hardware local (aun cuando esta opción puede ser limitada en contextos rurales sin conectividad), y la integración de nuevas técnicas de segmentación, como la transformación divisoria ‘watershed’, para separar granos en contacto entre sí. Asimismo, se contempla la optimización de los datos mediante la corrección de la distorsión introducida por la lente de la cámara, con el objetivo de incrementar la precisión de las mediciones obtenidas.

**Agradecimientos**

Este proyecto de investigación es desarrollado en la Facultad Regional de Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, en el espacio del CInApTIC. También agradecer la colaboración del INTA que nos brindaron los granos para realizar los estudios.

**Referencias**

[1] Sahbani, B., & Adiprawita, W. (2016). Kalman filter and Iterative-Hungarian Algorithm implementation for low complexity point tracking as part of fast multiple object tracking system.

https://api.semanticscholar.org/CorpusID:8589218

[2] M. S. Cleva, et al., "Técnicas de procesamiento digital de imágenes para la estimación del peso de granos de arroz cáscara", XXVIII Reunión de Comunicaciones científicas, Técnicas y de Extensión, 2023.

[3] M. N. Castro, M. S. Cleva, "Herramienta móvil de bajo costo para la caracterización morfológica de granos de arroz utilizando procesamiento de imágenes digitales", II Congreso Paraguayo de Informática, 2024.

[4] M. N. Castro, M. Beneyto, M. S. Cleva, "Reconocimiento morfológico de granos de arroz mediante procesamiento de imágenes con tecnologías accesibles", Simposio Latinoamericano sobre Educación, Tecnología y Ciencia, 2025.

**Datos de Contacto**

Castro, Mauricio Nicolás. UTN FRRe. French 414, Resistencia, Chaco. castromauricionicolas@hotmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Gestión por procesos en la venta de vinos en el mercado nacional: Diseño del modelo SCOR de una cooperativa vitivinícola

*Anabella Rosa Pasteris – Sebastián Agustín Maza*
*Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán*
pasteris.anabellar@gmail.com - sebas030.maza@gmail.com

**Resumen**
*Los pequeños productores de la industria vitivinícola en Cafayate enfrentan desafíos significativos para expandirse más allá del mercado local debido a la ausencia de procesos definidos y documentados en sus operaciones de venta B2B. Este trabajo presenta el diseño de un marco de referencia basado en la gestión por procesos para la Cooperativa Trassoles, utilizando elementos del modelo SCOR y Arquitectura Empresarial. El estudio desarrolla procesos estandarizados para los macroprocesos de "Ordenar" y "Entregar", incorporando indicadores clave de desempeño (KPIs) y mejores prácticas adaptadas a las limitaciones de recursos de una pequeña bodega. La implementación propuesta utiliza tecnologías gratuitas como Google Workspace, lo que permite mejorar la operatividad sin incrementar significativamente los costos. Los resultados demuestran que la cooperativa puede adoptar procesos definidos que fortalezcan sus ventas B2B y sienten las bases para la mejora continua organizacional*

**Palabras Clave**
Gestión por procesos, Modelo SCOR, Cooperativa vitivinícola, Cadena de suministro, KPIs, Arquitectura empresarial.

## Introducción

La gestión por procesos ha emergido como una disciplina fundamental que busca representar a una organización como un conjunto de procesos que involucran distintas áreas y personas de manera transversal, diferenciándose de la visión tradicional organizacional basada en jerarquías y comunicaciones verticales [1]. Esta aproximación cobra especial relevancia en el contexto de pequeños productores de la industria vitivinícola argentina, donde la falta de formalización en los procesos operativos constituye una barrera significativa para el crecimiento.

La Cooperativa Trassoles, compuesta por un grupo de 60 pequeños productores vitivinícolas ubicada en Cafayate, Salta, ejemplifica esta problemática. A pesar de poseer un gran potencial para la expansión más allá del mercado local, la incertidumbre causada por la inestabilidad económica regional y una visión limitada del negocio resultan en un modelo de gestión reactiva sin iniciativas estratégicas. Esta situación dificulta la evaluación de nuevas oportunidades para mejorar la oferta de productos a otras regiones del país.

La implementación de arquitectura empresarial, definida por la Federation of Enterprise Architecture Professional Organizations (FEAPO) como la práctica para conducir el análisis, diseño, planificación e implementación para el desarrollo exitoso de estrategias de negocios [2], ofrece un marco conceptual apropiado para abordar esta problemática. En particular, el modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference), presentado por la Association for Supply Chain Management (ASCM), proporciona una herramienta específica para definir la arquitectura de negocios organizacional [3][4].

Durante el relevamiento realizado en la bodega de Trassoles, se identificó una reciente relación comercial con un minorista de vinos de Buenos Aires, evidenciando oportunidades de crecimiento en el mercado nacional. Sin embargo, la ausencia de procesos definidos y documentados se refleja en la captura de órdenes y distribución informal, sin planificación previa y de manera ad-hoc. Esta situación se agrava por la carencia de indicadores clave de desempeño (KPIs) que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permitan, tanto a la bodega como a los socios de la cooperativa, evaluar el rendimiento y potencial de estas nuevas oportunidades de negocio [5].
El problema central radica en la falta de un marco estructurado que permita a la cooperativa gestionar eficientemente sus operaciones de venta business-to-business (B2B), cumpliendo simultáneamente con las normativas establecidas por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV), específicamente las resoluciones 34/2015 [6] y 10/2023 [7], que regulan el uso del Sistema de Información de Operaciones de Productos Vitivinícolas (Monitor SIO Vinos) y el Sistema de Presentación de Declaraciones Juradas On Line de Bodegas.
Este trabajo busca desarrollar un marco de referencia basado en la gestión por procesos que sirva como punto de partida para la planificación, ejecución y control de la venta de vinos a revendedores dentro del mercado nacional argentino. La propuesta utiliza elementos del modelo SCOR y principios de arquitectura empresarial, adaptándolos a las restricciones económicas y operativas de una pequeña cooperativa vitivinícola, con el objetivo de reforzar las ventas B2B, aumentar los recursos para expansión y crear nuevas oportunidades para la mejora continua organizacional.

## Desarrollo

El modelo de la cadena de suministro propuesto para la Cooperativa Trassoles se presenta en la figura 1. Este incluye los procesos o elementos de proceso de Nivel 3 recomendados. Aunque se abarcó la cadena de suministro en su totalidad, el enfoque de este desarrollo se limita a dos eslabones claves: ordenar y entregar, fundamentales para mejorar la operatividad en la venta de vinos de la cooperativa.
Para mantener una estructura clara, los indicadores se presentan en el Anexo 1 – Indicadores [8], donde se detalla su descripción, ecuación y fuente de datos. Las mejores prácticas se documentan en el Anexo 2 - Mejores Prácticas [9], con una descripción detallada y su relación con los procesos específicos.

Desarrollo – Ordenar

Nivel 3 – Elementos de Proceso

| Tecnología | Aplicaciones | Información |
|---|---|---|
| Computadora personal<br><br>Teléfono móvil<br><br>Postnet | Google Sheets<br><br>Google Docs<br><br>Google Drive<br><br>Gmail<br><br>Billetera virtual | Catálogo digital de productos<br>Documento de seguimiento de consultas y cotizaciones<br>Planilla de presupuesto<br>Planilla de cliente<br>Planilla de orden<br>Política de descuentos y promociones<br>Registro de inventario<br>Etiqueta de trazabilidad<br>Factura de compra<br>Registro de pagos |

**Tabla 1. Recursos necesarios para el macroproceso Ordenar**

O1.1 Procesamiento de consulta y confección de cotización

Los negocios interesados en vender el vino de Trassoles pueden contactarse para solicitar la confección de una cotización o preguntar acerca de su catálogo, tiempos de entrega y disponibilidad. Es conveniente mantener un documento de seguimiento para cada consulta o presupuesto, a modo de hacer un seguimiento de su estado. Durante la cotización es posible aplicar descuentos sobre el total o realizar recomendaciones.

Indicadores:

I.3) Tiempo de respuesta a consulta.
I.4) Tiempo de confección de cotización.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



I.5) Porcentaje de consultas resueltas.

Mejores prácticas:

MP.1) Sistema de evaluación de cotizaciones.
MP.2) Catálogo digital.
MP.3) Reporte de sustentabilidad.
MP.4) Experiencia personalizada.

O1.2 Recepción, ingreso y validación de orden

El proceso consiste en recibir la solicitud de pedido de un cliente, en base a la confección de un presupuesto previo. Se inicia la elaboración de la planilla orden en Google Docs y se guarda en la carpeta correspondiente en Google Drive, donde queda accesible para los responsables de las etapas posteriores del macroproceso de Ordenar. También se registra al cliente en la plantilla de clientes para centralizar y organizar los mismos.

Indicadores:

I.6) Cumplimiento en cantidad entregada.
I.7) Índice de precisión de artículos entregados.

Mejores Prácticas:

MP.5) Estandarizar los canales de comunicación.
MP.6) Estandarizar el formato de las órdenes.

O1.3 Reserva de inventario y estimación fecha de entrega

Una vez ingresada la orden en el sistema, cargándola en Google Drive, el personal del depósito accede al documento para reservar la cantidad de vinos requerida y se asigna una fecha estimada de entrega. Esta fecha estimada permitirá planificar el nivel de servicio, asegurando un cumplimiento adecuado con cada cliente.

Indicadores:

I.8) Porcentaje de compromiso de entrega al cliente en la fecha estimada.
I.9) Tasa de disponibilidad del inventario.
Mejores Prácticas:
MP.7) Acceso controlado a los archivos.
MP.8) Definir plazos de entrega estándar.

O1.4 Finalización de registro de orden

Con la orden ya ingresada en el sistema, se procede a la confirmación de la misma. Esta consiste en elaborar la orden de pedido con todos los detalles que la componen, asociándose con el cliente correspondiente. En este paso, se podría actualizar la plantilla cliente para aplicar el ítem de mejores prácticas “experiencia personalizada”.

Mejores Prácticas:

MP.10) Gestión de contactos y perfiles.
MP.11) Comunicación con el cliente.

O1.5 Procesamiento de pago

Este proceso va a comenzar cuando la orden ingresada ha sido confirmada. Incluye la emisión del comprobante correspondiente (factura o recibo), y la gestión del cobro mediante el método de pago acordado. Posteriormente, se verifica la recepción del pago y se emite una confirmación al cliente para cerrar la transacción. Se debe declarar la transacción ante el INV para que la información sea registrada en el Monitor SIO Vinos.

Indicadores:

I.10) Distribución de métodos de pago.
I.11) Tasa de órdenes confirmadas y pagadas.

Mejores Prácticas:

MP.12) Establecer métodos de pago.
MP.13) Fijar políticas de pago.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



MP.14) Confirmación rápida del pago.

O1.6 Comunicación de orden a depósito

Una vez finalizado el proceso de recepción e ingreso de la orden, esta debe ser comunicada internamente. El personal del depósito procede a preparar el pedido para su despacho, siguiendo las recomendaciones de trazabilidad para vincular los productos a enviar con su orden correspondiente.

Mejores prácticas:

MP.15) Trazabilidad.

Desarrollo - Entregar

Nivel 3 - Elementos de Proceso

| Tecnología | Aplicaciones | Información |
|---|---|---|
| Computadora personal<br><br>Teléfono móvil<br><br>Impresoras | Google Sheets<br><br>Google Docs<br><br>Google Drive<br><br>Gmail<br><br>Whatsapp<br><br>Generador de Código QR | Planilla de orden de pedido<br><br>Registro de inventario<br><br>Etiqueta de trazabilidad |

**Tabla 2. Recursos necesarios para el macroproceso Entregar**

F1.1 Reserva y Coordinación de Envío

Este proceso comienza cuando el pedido del cliente se procesó y todos los productos solicitados ya se encuentran listos en el almacén. En este punto el primer paso es marcar los productos correspondientes como reservados asociándolos al pedido al que pertenecen. Acto seguido se realiza el contacto con la empresa de transporte para confirmar la fecha de envío real del pedido.
Para llevar a cabo este proceso, se requieren medios para persistir información sobre el estado de los productos del inventario desde Google Sheets. Además, se requieren de medios de comunicación digitales como Gmail para una comunicación formal con la empresa de transporte.

Indicadores:

I.12) Porcentaje de órdenes registradas correctamente

Mejores prácticas

MP.16) Seguimiento de lote.
MP.17) Implementación de códigos de respuesta rápida (QR).

F1.2 Preparación del pedido

Es el proceso de armar el pedido para su envío al cliente. Requiere listar todos los productos a recoger del depósito, identificar cuáles son los productos reservados, registrar su recolección y llevarlos del depósito al área de envío hasta su despacho.
En caso de requerir entregas parciales, se registrará en la planilla qué productos y cantidades se enviarán en cada entrega, detallando además la fecha estimada. Este proceso podría realizarse con el apoyo de Google Docs para elaborar la lista de recolección a partir de la planilla de orden del pedido. Además, se actualizará el estado del pedido y de los productos recogidos en sus planillas correspondientes de Sheets.

Indicadores:

I.6) Cumplimiento en cantidad entregada.
I.7) Índice de precisión de artículos entregados.

Mejores prácticas:

MP.18) Almacenaje y preparación del pedido.

F1.3 Despacho del pedido

El proceso abarca todas las actividades que se realizan sobre el pedido armado antes de su despacho. Entre ellas se encuentra el empaquetado, embalaje, etiquetado y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



finalmente su entrega a la empresa de transporte para su envío.
Nuevamente se ingresaría a la hoja de cálculo (Sheet) para actualizar el estado del pedido. También se podría realizar un registro fotográfico del pedido despachado y de los documentos de identificación del transportista para documentar las condiciones en que salió el pedido y contar con pruebas en caso de posibles reclamos.

Indicadores:

I.6) Cumplimiento en cantidad entregada.
I.7) Índice de precisión de artículos entregados.

Mejores prácticas

MP.19) Evaluación de los registros del inventario.
MP.20) Estandarización del empaque.

F1.4 Gestión administrativa de envíos

Son todas aquellas actividades posteriores al despacho del producto. Como ser, registrar y notificar al cliente del envío y finalmente recibir la confirmación de que el pedido llegó por parte del cliente.
Entre los recursos necesarios para implementar este proceso están las hojas de cálculo para actualizar el estado del pedido y un medio de comunicación digital (Gmail o Whatsapp) para notificar al cliente.

Mejores Prácticas:

MP.5) Estandarizar los canales de comunicación.

Desarrollo - Modelado de Proceso Nivel 4

La definición de los procesos de Nivel 4 para ambos macroprocesos, se puede encontrar en el Anexo 3 - Modelado de Procesos [10]. Estos toman uno o más elementos de proceso del Nivel 3 para detallar la implementación de las mejores prácticas propuestas, el uso de los recursos planteados y otras actividades necesarias para la declaración de las transacciones ante el INV.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Por medio del presente trabajo es posible ver que la Cooperativa Trassoles no requiere realizar cambios de gran magnitud para la adopción de procesos definidos, orientados a un mejor servicio de ventas B2B. Las tecnologías y aplicaciones necesarias son gratuitas y de uso amigable, lo que no supondría un aumento en el precio de los vinos vendidos, preocupación que fue expresada durante el relevamiento en la bodega. Los cambios más significativos serían la medición de los procesos por medio de los indicadores propuestos y el diseño de los documentos usados, como las planillas de clientes y las etiquetas de trazabilidad.
Al mismo tiempo, el marco de referencia propuesto permitiría a Trassoles adoptar otras prácticas relacionadas al control de sus actividades. Por ejemplo, es posible emplear algunos de los indicadores y mejores prácticas vinculadas a la calidad del servicio, como el porcentaje de consultas resueltas y la estandarización del empaque, para realizar la evaluación del desempeño del personal.
Es muy probable que los procesos modelados deban ser modificados por los socios para reflejar sus capacidades con mayor precisión y aplicar conocimientos adquiridos previamente. Se debe fomentar esta participación y poner a disposición el marco de referencia refinado, para que todos los interesados puedan consultarlo y proponer mejoras. De esta manera, por medio del esfuerzo colaborativo, Trassoles sería capaz de mejorar la madurez de sus procesos y reforzar su posición dentro del mercado nacional.

### Referencias

[1] Gartner (n.d.). Business Process Management (BPM).Gartner
https://www.gartner.com/en/information-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



technology/glossary/business-process-management-bpm.
[2] Enterprise architecture. (2024, 8 agosto). En Wikipedia.https://en.wikipedia.org/wiki/Enterprise_architecture#cite_note-feapo-1
[3] (2022). SCOR Digital Standard (pp. iv-xi). The Association for Supply Chain Management. https://scor.ascm.org/api/files/24?v=1731807595833
[4] Altez Cárdenas, C. J. (2017). La gestión de la cadena de suministro: el modelo Scor en el análisis de la cadena de suministro de una pyme de confección de ropa industrial en Lima este. Caso de estudio: RIALS EIRL.
[5] EQM Consulting. (2022, 11 marzo). ¿Qué son los KPI y qué indicadores existen? | Eqm Consulting.EQM Consulting. https://eqmconsulting.com/que-son-los-kpi-y-tipos-existen/
[6] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, República Argentina, "Resolución 34/2015: Operaciones de compra - venta de productos vitivinícolas", Boletín Nacional de la República Argentina, publicado el 10 de septiembre de 2015. [En línea]. Disponibles en: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-34-2015-251707.
[7] Instituto Nacional de Vitivinicultura, República Argentina, "Resolución 10/2023: Sistema de presentación de declaraciones juradas on line de bodegas", Boletín Nacional de la República Argentina, publicado el 16 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-10-2023-383779.
[8] Cooperativa Trassoles. (2024). Anexo 1 - Indicadores. Google Docs. [En línea]. Disponible en: https://docs.google.com/document/d/1pm34a337b-qvnymGomdf1s5Xju2TdCgTpzJPDDcEz48/edit.
[9] Cooperativa Trassoles. (2024). Anexo 2 - Mejores Prácticas. Google Docs. [En línea]. Disponible en: https://docs.google.com/document/d/1yoXFhaOWoKbhpX2FPmyLXLyGqeNkXOJ4c4ZqhoOaP-o/edit.
[10] Cooperativa Trassoles. (2024). Anexo 3 - Modelado de Procesos. Google Docs. [En línea]. Disponible en: https://docs.google.com/document/d/1iCUkn4wgU0MFhs2yzaLU6GPsWEv6D1Y4F_9fa8ck4VU/edit.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



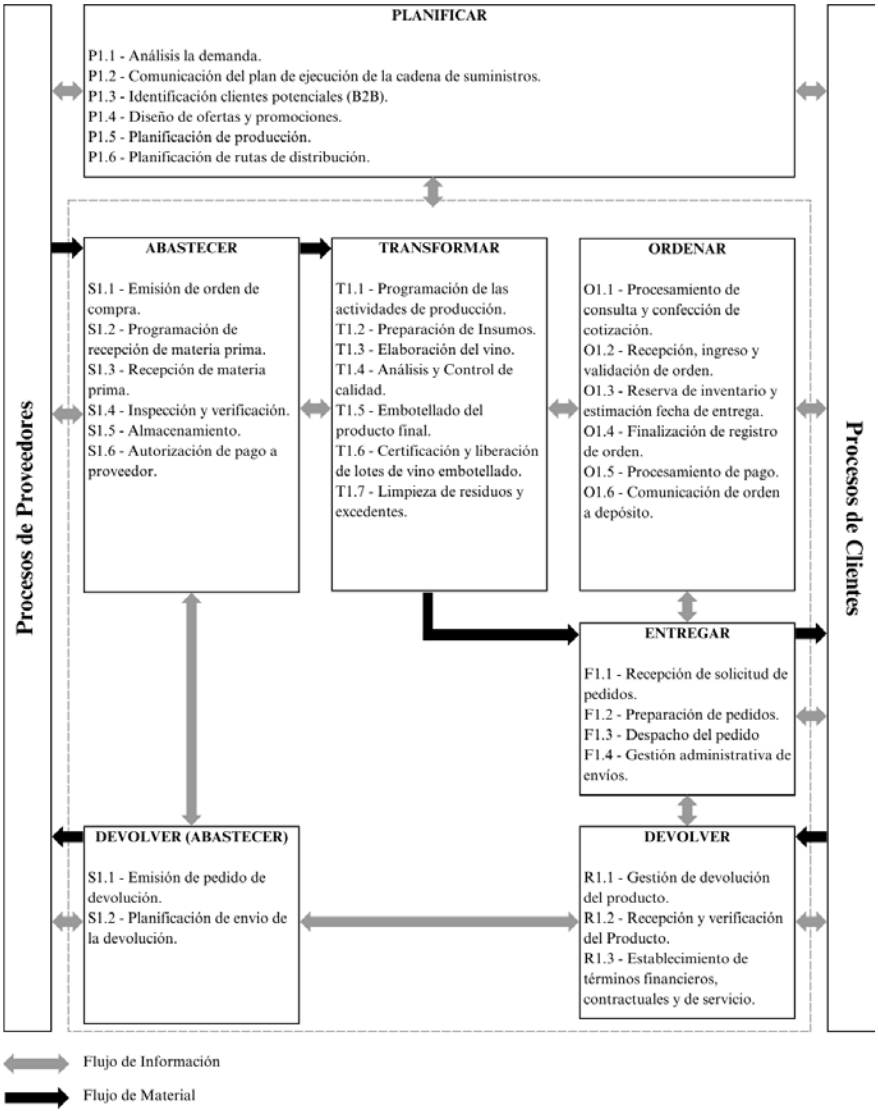



**Figura 1. Cadena de suministro propuesta con sus procesos de Nivel 1 y Nivel 3**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Análisis de usabilidad del sitio web institucional

**Badami, Celeste; Niccolini, Lautaro; Rodriguez-Luna, Mariel**
***Instituto Universitario Aeronáutico, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*Este trabajo se desarrolla en el marco de un proyecto de investigación y desarrollo interno de la Unidad Académica denominado "Propuesta de estrategia de mejora del sitio web institucional aplicando técnicas de diseño centrado en el usuario". La finalidad de este documento es presentar una metodología de trabajo orientada al análisis de la usabilidad web.*
*La metodología propuesta resulta de la incorporación de conceptos teóricos de calidad, usabilidad y accesibilidad web y la aplicación de herramientas software especializadas para el análisis del contexto.*
*En este documento se detalla el análisis de la página web del institucional realizando foco en la sección de la facultad de ingeniería.*
*Al final del documento se presentan recomendaciones de mejora venidas de la aplicación de la metodología las cuales ayudan a incrementar las características de usabilidad de la web. Se espera que dichas sugerencias ayuden a incrementar el uso de la página web brindando una experiencia de usuario fluida, intuitiva y satisfactoria.*

**Palabras Clave**
Usabilidad, ISO, calidad, página web.

## Introducción

La usabilidad es un atributo fundamental en la calidad de los sitios web, ya que influye directamente en la facilidad de uso, eficiencia y satisfacción del usuario al interactuar con una página.
Este trabajo se centra en el desarrollo de una metodología que permita mejorar la usabilidad de sitios web.
Para llevar a cabo este trabajo se desarrolla un caso de estudio de la página institucional. Durante el proceso, se utilizaron diversas métricas e indicadores que permiten evaluar tanto el grado de usabilidad como el nivel de experiencia del usuario al navegar por el sitio.

## Objetivo

El objetivo principal de este trabajo consiste en el diseño de una metodología estructurada para la evaluación de usabilidad de sitios web.

Adicionalmente, los objetivos específicos planteados son:

- Elaborar un conjunto de criterios e indicadores para el análisis de la usabilidad web.
- Identificar puntos críticos o áreas del sitio que presentan problemas de usabilidad.
- Identificar fortalezas y debilidades en la interacción del usuario con el sitio, a fin de aportar recomendaciones que optimicen su funcionamiento y accesibilidad.
- Proponer recomendaciones concretas de mejora basadas en los resultados obtenidos del análisis.

## Evolución de las páginas web

A lo largo de la historia de la informática, las páginas web experimentaron una evolución significativa.

A mediados de 1990, surgió la fase inicial de la web, conocida como Web 1.0, la cual era principalmente estática y con interacción limitada. Además, se caracterizó por la difusión de información textual, enlaces básicos y simplicidad.

Posteriormente, apareció la Web 2.0 a mediados de la década de los 2000. En este período se introdujo la interactividad y la colaboración en la red, lo que dió a los usuario la posibilidad de no solo consumir contenido, sino también de crearlo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La Web 3.0 se da lugar alrededor del año 2010, la cual hizo énfasis en la estructuración y la accesibilidad de la información. Además, de la integración de dispositivos y tecnologías móviles.

La evolución de las páginas web, desde sitios estáticos hasta las plataformas dinámicas de la actualidad, ha sido acompañada de un énfasis creciente en la usabilidad.

**Usabilidad**

Si bien se puede encontrar numerosas definiciones de autores, se tomará la definición proporcionada por las normas ISO, la cual define la usabilidad como:

> "***Grado de eficacia, eficiencia y satisfacción con la que usuarios específicos pueden lograr objetivos específicos, en contextos de uso específicos***".

Siguiendo esta definición, se puede establecer que la usabilidad la componen dos tipos de atributos:

- Atributos cuantificables de forma objetiva: como son la eficacia o número de errores cometidos por el usuario durante la realización de una tarea, y eficiencia o tiempo empleado por el usuario para la consecución de una tarea.

- Atributos cuantificables de forma subjetiva: como es la satisfacción de uso, medible a través de la interrogación al usuario, y que tiene una estrecha relación con el concepto de Usabilidad Percibida.

Por lo tanto, se busca que la metodología abarque estos dos aspectos de la usabilidad para asegurar la calidad del sitio web.

**Metodología**

Esta metodología centra el desarrollo en el usuario, en base a esto propone un conjunto de actividades que permite mejorar la usabilidad de la página analizada y para esto se analizan los resultados de los indicadores guías empleados los cuales verifican el cumplimiento de los estándares definidos.

La metodología desarrollada consta de tres etapas claves:

1. **Observación:** Se realiza un relevamiento del sitio web.
2. **Desarrollo:** Se analiza en profundidad cuestiones subjetivas y objetivas de experiencia de usuario
3. **Análisis de resultados:** Se exponen los resultados obtenidos.

A continuación el desarrollo de cada etapa.

**Observación**

La etapa de observación tiene como objetivo realizar un relevamiento inicial para conocer e inspeccionar la página web. Se realiza una observación de campo y entrevistas a personas cuya experiencia de uso es de interés y se considera relevante para el análisis del sitio. Así mismo, se hace una evaluación manual navegando por el sitio a fin de identificar puntos fuertes y débiles.

Si bien, los estudios mencionados son subjetivos, estos permiten identificar "*grosso modo"* algunas inconsistencias de la página web. Las cuales en las etapas posteriores se concluirá si son realmente fallas a remendar o si solo es percepción del usuario objetivo.

Esta etapa aplicada a la página web institucional haciendo hincapié en la sección de Facultad de Ingeniería carrera Ingeniería en Informática. El equipo de trabajo desarrolló un informe con la información recolectada sobre los módulos más consultados, información de la carrera y datos adicionales sobre contactos institucionales, colorimetría y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



comparaciones con otras páginas institucionales afines.

El informe sirvió como documentación para posteriores entrevistas con el departamento de Comunicación Institucional y el departamento de Desarrollo, dichos departamentos corresponden a los expertos que dieron los detalles de funcionamiento interno y las políticas que sigue la institución sobre el formato del contenido publicado.

**Desarrollo**

En esta etapa del proyecto, se ha optado por una estrategia metodológica que permita la recolección y análisis de datos tanto objetivos como subjetivos. Para la obtención de información subjetiva se utilizó la evaluación heurística, seleccionando cuatro heurísticas fundamentales: visibilidad del diseño del sistema, relación del diseño, navegación y libertad de diseño, y consistencia.

Se eligieron estas cuatro heurísticas porque representan los fundamentos esenciales de la usabilidad y permiten evaluar aspectos críticos de la navegación, los cuales serían la comprensión de lo mostrado en la página, la correcta interpretación del lenguaje y los elementos del diseño, la libertad de movimiento por el sitio y por último la coherencia en la interacción. Además, estos cuatro principios seleccionados son fácilmente medibles mediante observación directa o encuestas, lo que simplifica el proceso de análisis y se obtiene información relevante de manera eficiente.

A continuación se describen los elementos evaluados según cada heurística:

- Visibilidad del diseño del sistema: Es importante mostrar que cada uno de los enlaces explorados se encuentra señalado correctamente, permitiendo al usuario interactuar con el sistema de manera clara y segura.
- Relación del diseño: El diseño debe utilizar un lenguaje comprensible y cercano al usuario, apoyado con iconos o imágenes que transmitan un mensaje representativo.
- Navegación y libertad de diseño: El usuario debe percibir que posee control sobre la navegación y que las interacciones entre las distintas páginas funcionan correctamente, evitando sensación de atrapamiento o confusión.
- Consistencia: Se asegura coherencia en sintaxis, apariencia visual y enlaces en todo el sitio, facilitando la familiarización y reduciendo la curva de aprendizaje.

De acuerdo a la respuesta que los usuarios den a estos ítems una herramienta de análisis como Google Forms puede dar interpretación gráfica a los resultados facilitando la interpretación de los datos.

Para la obtención de valores objetivos, se recomienda la utilización de herramientas de libre acceso como WAVE, PageSpeed Insights y TAW. Estas herramientas se basan en las pautas WCAG (Web Content Accessibility Guidelines), un conjunto de recomendaciones internacionales elaboradas por el World Wide Web Consortium (W3C). Dichas pautas promueven que los sitios web sean perceptibles, operables, comprensibles y robustos, garantizando así su accesibilidad para todas las personas.

El W3C, por su parte, es el organismo internacional encargado de desarrollar los estándares técnicos que garantizan el correcto funcionamiento, la interoperabilidad y la accesibilidad de la Web.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A continuación , se describen las principales herramientas utilizadas:

Wave: Mide cuan usable es el sitio, aunque su foco principal es la accesibilidad, esto repercute directamente a la usabilidad universal, un sitio accesible es usable para todos. [6]

PageSpeed: Mide la velocidad de carga y rendimiento, un sitio lento afecta negativamente la experiencia del usuario, si un sitio demora mucho en cargar o se comporta de forma errática , el usuario seguramente lo abandone antes de interactuar. [7]

TAW: Analiza la accesibilidad y usabilidad basándose en las pautas WCAG, la cual incluye elementos como jerarquía de encabezados, contraste de colores, uso de etiquetas, navegación por teclado, etc. Todo esto está ligado al principio de usabilidad para todos, el cual es un principio del diseño centrado en el usuario que busca que cualquier persona sin importar su edad, nivel de experiencia, capacidades físicas o cognitivas, puedan utilizar un sistema de forma efectiva, eficiente y satisfactoria.[8]

Estas herramientas evalúan la usabilidad en términos de condiciones técnicas que afectan la experiencia de uso.

Al combinar estas herramientas con una evaluación heurística se logra un análisis más completo, abarcando factores técnicos como perceptivos que inciden en la usabilidad global del sistema.

**Análisis de resultados**

En esta etapa de la investigación se aplicaron sobre la página web institucional los criterios y herramientas de análisis de usabilidad definidos en la etapa de desarrollo de la metodología.

Para obtener una perspectiva subjetiva, se llevaron a cabo encuestas dirigidas principalmente a los estudiantes del sitio, en el marco de una evaluación heurística. Las respuestas recolectadas permitieron identificar percepciones, dificultades y valoraciones relacionadas con la experiencia de uso.

**Gráficos, evaluación, heurística**

De las encuestas realizadas se obtuvieron los resultados, de los cuales puede observarse que los estudiantes encuestados perciben que la usabilidad de la página web tiene oportunidad de mejora.

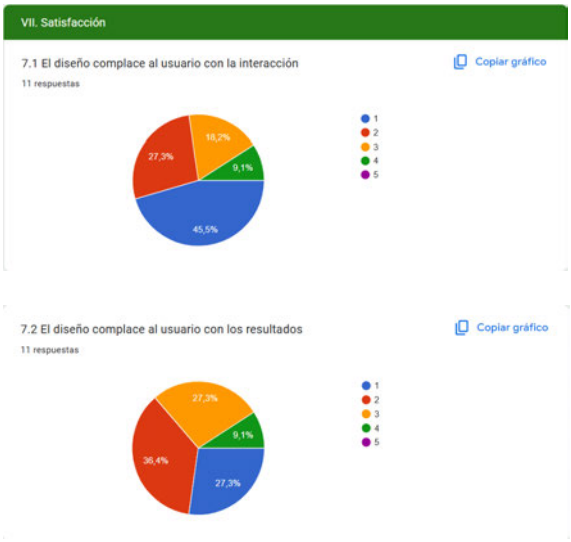



Figura 1. Encuesta de satisfacción.

Por otra parte, al aplicar las herramientas de evaluación previamente descritas, se obtuvieron resultados que complementan los hallazgos de las encuestas.

Para el paso de la recolección de valores objetivos medibles las herramientas de software aplicadas arrojaron datos sobre las deficiencias en cuanto a estructura de navegación y conformidad con principios de usabilidad.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 2. Diagnóstico de problemas de rendimiento.

Estos resultados fueron obtenidos mediante la herramienta Lighthouse, un sistema de auditoría desarrollado por Google Chrome que evalúa diversos aspectos de una página web, tales como rendimiento, accesibilidad y SEO.

En particular, la puntuación de rendimiento integra varias métricas que permiten medir la rapidez y la fluidez de la experiencia del usuario. Dicha puntuación se expresa en una escala de 0 a 100 y se clasifica en tres rangos, identificados por un sistema de colores que facilita su interpretación:

- 0 – 49 (Rojo): Rendimiento deficiente. Refleja páginas con limitaciones significativas en tiempos de carga, capacidad de respuesta o estabilidad visual.
- 50 – 89 (Naranja): Rendimiento aceptable, pero con necesidad de optimización. Indica que la experiencia de usuario puede mejorar de forma considerable.
- 90 – 100 (Verde): Rendimiento bueno. Corresponde a páginas que cumplen con los estándares recomendados en velocidad y experiencia de usuario.

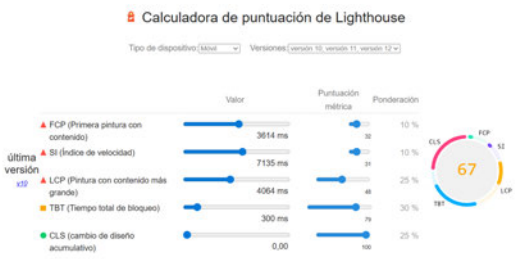



Figura 3. Calculadora de puntuación.

Algunas de las sugerencias obtenidas para mejorar la usabilidad de la página web.




Figura 4. Resumen herramienta WAVE.

Tal como muestra la figura 4, el análisis realizado arrojó un total de 22 errores críticos que afectan la usabilidad y accesibilidad del sitio. Entre ellos se identificaron: 6 imágenes utilizadas como enlaces sin texto alternativo, lo que impide a los lectores de pantalla transmitir el destino de dichos enlaces; 4 campos de formulario sin etiquetas <label>, dificultando que los usuarios comprendan qué información deben ingresar; 11 botones vacíos, sin texto ni icono accesible, lo cual genera ambigüedad en su función; y 1 enlace sin contenido ni descripción, que no comunica el destino al usuario.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El análisis de los resultados permite arribar a conclusiones concretas sobre el estado actual del sitio web. Los datos obtenidos a través de la evaluación heurística evidencian un marcado descontento por parte de los usuarios, siendo la navegación uno de los aspectos más problemáticos identificados. La estructura poco intuitiva y la dificultad para acceder a información relevante fueron señaladas de forma reiterada.

Cabe destacar que, los resultados obtenidos evidencian la necesidad de un plan de acción estructurado que priorice intervenciones concretas, tales como la corrección de etiquetas y botones, la reorganización de menús y la mejora de la accesibilidad de los contenidos. La implementación de estas mejoras no solo garantiza una experiencia de usuario más intuitiva y satisfactoria, sino que también ofrece un modelo replicable que puede aplicarse a otras plataformas institucionales, reforzando la importancia de un diseño centrado en el usuario como principio fundamental en el desarrollo web.

La combinación de estos datos —subjetivos y objetivos— permitió construir una visión integral de las debilidades del sitio web, considerando tanto los aspectos técnicos como la experiencia directa del usuario. Esta mirada conjunta resulta fundamental para fundamentar propuestas de mejora orientadas a optimizar la usabilidad, la claridad y la eficiencia en la navegación.

**Trabajos futuros**

A partir de los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, se considera que para futuros trabajos sería fundamental continuar con investigaciones orientadas a la experiencia de usuario. En este sentido, sería apropiado incorporar un apartado en las encuestas que permita a los participantes expresar recomendaciones, observaciones o propuestas de mejora. Esta información cualitativa complementaría los datos cuantitativos obtenidos, brindando una visión más integral sobre las necesidades y expectativas de los usuarios.
Por último sería valioso evaluar el impacto de las mejoras implementadas con el fin de validar la efectividad de las recomendaciones propuestas en el estudio.

**Conclusión**

En conclusión, se demostró que la metodología propuesta es un instrumento de ayuda para la evaluación de usabilidad de sitios web. Al combinar métricas objetivas y técnicas subjetivas se logró un enfoque mixto, lo cual permite cuantificar deficiencias técnicas y captar la percepción real de los usuarios. En cuanto al caso de estudio de la página web institucional, se pone a manifiesto algunas áreas a mejorar para optimizar la eficiencia y la satisfacción del usuario. Este trabajo contribuye a consolidar una metodología sistemática de análisis de usabilidad que puede adaptarse a otros entornos web.

**Referencias**

[1] Guadalupe García Toribio, Yesenia Polvo Saldaña. “Medición de la usabilidad del diseño de interfaz de usuario con el método de evaluación heurística: dos casos de estudio” 2019.
Disponible en:
repository.unab.edu.co/2019_Medicion_de_la_usabilidad

[2] Juan Merodio. “Evolución de la web 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0“ 2024.
Disponible en:
es.wix.com/evolucion-de-la-web

[3] Laura Alejandra Alvarado, Andrés Leonardo Gómez. “Análisis de usabilidad de una página web educativa”. Universidad Católica de Colombia.
Disponible en:
repository.ucatolica.edu.co/analisis-usabilidad

[4] Hassan-Montero Yusef, Francisco Martin, Ghzala Iazza. “Diseño Web Centrado en el Usuario: Usabilidad y Arquitectura de la Información”. 2004.
Disponible en:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



designsolana.com.ar/2024_Diseño_Web_Centrado_en_el_Usuario_Usabilidad_y_Arquitectura_de_la_Informacion.pdf

[5] Respuestas de encuestas realizadas Valoración de pagina web (respuestas)
[6] Herramienta Wave disponible en: https://wave.webaim.org/
[7] Herramienta PageSpeed disponible en: https://pagespeed.web.dev/
[8] Herramienta TAW disponible en: https://www.tawdis.net/?lang=es

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Reentrenamiento del modelo de redes neuronales profundas (PhaseNet), adaptando datos sismológicos del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) para optimizar la detección y localización de sismos en Argentina

**Ciro Delgado**
**Alumno Avanzado de la Licenciatura en Sistemas de Información**
**Departamento de Informática**
**U.N.S.J. - F.C.E.F. y N.**
**Complejo Islas Malvinas. Cereceto y Meglioli. 5400. Rivadavia. San Juan, 0264 4234129**
**cirodelgado7@gmail.com**

**Resumen**
En este trabajo se aborda el desafío de mejorar la capacidad del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) para la detección y localización de sismos en Argentina mediante la aplicación de herramientas de Deep Learning. Actualmente, para el monitoreo en algunas regiones del país, el INPRES utiliza PhaseNet, una red neuronal profunda diseñada para la detección automática de los tiempos de arribo de fases sísmicas P y S. PhaseNet fue originalmente entrenado con un gran volumen de datos sísmicos de diferentes regiones del mundo, lo que le otorga un desempeño generalizado. Sin embargo, dicho entrenamiento no necesariamente refleja las condiciones sismotectónicas, instrumentales y de ruido propias de las estaciones sismológicas ubicadas en Argentina. Por ello, este estudio propone reentrenar PhaseNet utilizando el Catálogo Sísmico Argentino del INPRES. El uso de datos locales ofrece una doble ventaja: por un lado, incorpora la sismicidad característica de la región —que incluye eventos corticales, interplaca e intraplaca—; y por otro, contempla las particularidades instrumentales y las condiciones de emplazamiento de las estaciones, garantizando una representación más fiel de las condiciones reales de registro. Superar ese desafío permitirá optimizar la precisión en la identificación automática de fases sísmicas, mejorar la calidad de los catálogos nacionales, fortalecer la autonomía tecnológica del INPRES y aprovechar de manera integral el vasto volumen de información sísmica acumulada.

**Palabras claves:** Sismología, INPRES, PhaseNet, Inteligencia Artificial, Sismos, Terremotos, Deep Learning, Redes Neuronales Profundas.

## Introducción

El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) [1], creado por la Ley 19.616, es el organismo público responsable del monitoreo sísmico en todo el territorio argentino. Como tal, es poseedor del más vasto e importante Catálogo Sísmico y de formas de onda del territorio Argentino.

En INPRES los datos de forma de onda se almacenan en un formato estándar denominado miniSEED, que es a la vez, un subconjunto del estándar para el intercambio de datos de terremotos (Standard for the Exchange of Earthquake Data - SEED), que es un formato de datos destinado al archivo e intercambio de datos de series temporales sismológicas y metadatos relacionados. El formato está definido por la Federación Internacional de Redes de Sismógrafos Digitales (FDSN) y está documentado en el Manual de SEED [2]. En miniSEED se incluyen metadatos muy limitados para la serie temporal. En particular, no se incluyen las coordenadas geográficas, la información de respuesta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



instrumental y otra información necesaria para interpretar los datos.

Las series de tiempo se almacenan como registros de datos de longitud fija independientes, cada uno de los cuales contiene un pequeño segmento de valores de series contiguos. Las longitudes de registro comunes son 512 bytes (para flujos en tiempo real) y 4096 bytes (para archivo). Además, existen numerosas librerías de código abierto para facilitar la lectura y escritura de datos miniSEED sin necesidad de conocer los detalles del formato.

La Red Nacional de Monitoreo Sísmico [3] de INPRES se compone de setenta y tres (73) estaciones sismológicas, de uno y tres canales cada una, transmitiendo en tiempo real al Centro de Datos de INPRES. Cada registro de una hora de duración para una estación típica a 100 muestras por segundo, tiene un tamaño aproximado de 3 Megabyte, con lo cual un día completo representan 72 Megabytes, y 26 Gigabyte al año, para cada canal. Si la estación registra para tres canales (Vertical, Norte-Sur y Este-Oeste), se tiene que calcular que cada estación sísmica genera aproximadamente 80 Gigabyte de datos al año. Para las 73 estaciones hace aproximadamente 1.9 Terabytes anuales.

El INPRES comenzó sistemáticamente a registrar sus datos de onda en formato miniSEED desde el año 2010 con un comienzo de 20 estaciones, hasta llegar a las 73 actuales.

El tamaño total de datos de forma de onda en formato miniSEED en INPRES asciende a aproximadamente 15 Terabytes. Muchos de esos datos están almacenados en dispositivos offline. La siguiente tabla muestra la evolución de estaciones y cantidad de datos almacenados en INPRES a septiembre de 2025.

| Año | N° de Estaciones | Terabytes/Año |
|---|---|---|
| **2010** | 20 | 0,520 |
| **2011** | 22 | 0,572 |
| **2012** | 19 | 0,494 |
| **2013** | 22 | 0,572 |
| **2014** | 20 | 0,520 |
| **2015** | 25 | 0,650 |
| **2016** | 30 | 0,780 |
| **2017** | 30 | 0,780 |
| **2018** | 38 | 0,988 |
| **2019** | 42 | 1,092 |
| **2020** | 42 | 1,092 |
| **2021** | 47 | 1,222 |
| **2022** | 50 | 1,300 |
| **2023** | 55 | 1,430 |
| **2024** | 67 | 1,751 |
| **2025** | 73 | 1,923 |
| **Tamaño Total (en TB)** | | **15,686** |

Tabla 1 - Evolución de estaciones y cantidad de datos almacenados en INPRES a septiembre de 2025.

La detección precisa y automática de los tiempos de llegada de las ondas sísmicas P y S es fundamental para la localización de eventos sísmicos, la determinación de sus propiedades y, a partir de esa información, la comprensión de la estructura interna de la Tierra. Con el incremento en el número de estaciones sismológicas y el volumen de datos generados, las técnicas manuales de selección de fases se han vuelto ineficientes, haciendo indispensable la automatización a través de herramientas avanzadas como el aprendizaje automático.

Actualmente, en INPRES se utiliza de forma experimental el modelo PhaseNet [4], una red neuronal profunda diseñada para la detección automática del tiempo de llegada de las fases sísmicas P y S. Este modelo utiliza ondas sísmicas tricomponentes como entrada y genera distribuciones de probabilidad de llegadas P, S y ruido como salida. Sin embargo, el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



modelo PhaseNet en su fase de entrenamiento inicial se basó en datos digitales de formas de onda sísmicas disponibles en el Catálogo del Centro de Datos de Terremotos del Norte de California [6]. Esta dependencia de datos exógenos presenta una limitación significativa para la aplicación óptima del modelo en el territorio argentino. Las características de las señales sísmicas locales, influenciadas por la geología regional, la atenuación, niveles de ruido y calidad de la instrumentación, pueden diferir sustancialmente de las utilizadas para entrenar originalmente el modelo, lo que podría afectar la precisión y robustez del modelo en el contexto argentino.

Como resultados se espera obtener un modelo más preciso en la identificación de ondas P y S, en particular en la detección de ondas S.

**Trabajo de Investigación**

El presente trabajo detalla la metodología debe ser desarrollada para reentrenar el modelo PhaseNet con datos locales provistos por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES).

1. **Recopilación y preparación de datos.**
   Se deben recopilar registros sísmicos de la Red Nacional de Estaciones Sismológicas (RNES), los cuales se encuentran en formato miniSEED.
2. **Conversión a formato compatible**
   Para poder utilizar PhaseNet, es necesario convertir los datos a un formato estándar que incluya dos archivos: metadata.csv (con información de eventos, fases y tiempos de arribo) y waveforms.hdf5 (con las formas de onda). Para esta tarea se debe desarrollar un programa en Python que automatice la conversión.
3. **Construcción del conjunto de datos.**
   Una vez convertido el material, se debe dividir el dataset en tres subconjuntos: 80% para entrenamiento, 10% para validación y 10% para prueba. Esta separación permite evaluar el rendimiento del modelo de manera objetiva y reducir el riesgo de sobreajuste.
4. **Entrenamiento del modelo.**
   Con los datos listos, se debe proceder al entrenamiento supervisado del modelo. Se deben configurar hiper parámetros como la tasa de aprendizaje, número de épocas, tamaño de lote y optimizador. El proceso se debe ejecutar en entornos con GPU, que permitan acelerar la iteración de entrenamiento.
5. **Evaluación del desempeño**
   Para medir la efectividad del modelo se deben aplicar métricas como precisión, recall, F1-score y error promedio en milisegundos para los tiempos de arribo.
6. **Validación y Contraste.**
   Una vez entrenado y evaluado el modelo, deberá ser validado con datos históricos del Catalogo Sísmico y contrastado con los resultados de los métodos tradicionales.

Las tecnologías que deben utilizarse para desarrollar este trabajo son:

**Python**: Como lenguaje de programación principal, Python es la base para la implementación de todo el proceso, desde la carga y preprocesamiento de datos hasta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



el entrenamiento y evaluación del modelo PhaseNet.

**Pandas**: Es una librería fundamental para la manipulación y análisis de datos. Proporciona estructuras de datos de alto rendimiento y fáciles de usar, como dataframes y series, que facilitan el trabajo con datos tabulares.

**NumPy**: Es la librería esencial para la computación numérica en Python. Proporciona un objeto de matriz multidimensional (ndarray) de alto rendimiento y herramientas para trabajar con estas matrices.

**ObsPy**: Es una librería de código abierto fundamental para la sismología. Proporciona herramientas robustas y flexibles para el procesamiento de datos sismológicos, incluyendo la lectura de diferentes formatos de archivo sísmico, el procesamiento de señales (filtrado, corrección de instrumentación), y la visualización de sismogramas.

**SeisBench**: Esta librería es un marco de trabajo de aprendizaje automático en sismología que proporciona herramientas para la gestión de conjuntos de datos sísmicos y la aplicación de modelos de aprendizaje profundo pre entrenados (como PhaseNet) o para entrenar nuevos modelos. Facilita la carga de datos, el preprocesamiento específico para modelos de ML y la evaluación.

**PyTorch** (o TensorFlow/Keras, si aplica el uso de Keras dentro de TensorFlow): Como framework de aprendizaje profundo, PyTorch es esencial para la implementación y el entrenamiento de redes neuronales, incluyendo PhaseNet. Proporciona herramientas para construir grafos computacionales dinámicos, realizar operaciones de tensores optimizadas y gestionar el entrenamiento de modelos complejos.

**Matplotlib y Seaborn**: Son librerías de visualización de datos. Matplotlib es la base para crear gráficos estáticos, interactivos y animados en Python, mientras que Seaborn se construye sobre Matplotlib y proporciona una interfaz de alto nivel para crear gráficos estadísticos atractivos e informativos.

**Trabajos Relacionados**

La tesis titulada *"Desarrollo de un procedimiento para la generación de un conjunto de datos sísmicos de la República Argentina destinado al entrenamiento del modelo PhaseNet"* [5] propone un procedimiento sistemático de pre procesamiento y conversión de datos sísmicos requeridos por PhaseNet.

**Conclusiones y Trabajos Futuros**

Se destaca la importancia de adaptar modelos de Aprendizaje Profundo a las condiciones locales para mejorar significativamente la cantidad de eventos detectados y la localización de los sismos en Argentina.

Superar la heterogeneidad de los formatos de datos representa un desafío clave, pero también una oportunidad para unificar criterios, estandarizar procesos y maximizar el aprovechamiento del vasto volumen de información disponible. En este sentido, la implementación de este modelo entrenado con datos locales constituye un paso decisivo hacia la mejora de la calidad de los catálogos sísmicos nacionales y la reducción de la dependencia de modelos externos.

El reentrenamiento de PhaseNet con datos del INPRES no solo permitirá mejorar la precisión en la identificación de fases sísmicas P y S, sino también fortalecer la autonomía tecnológica del país en el monitoreo sísmico.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En resumen, mediante el uso de herramientas de Deep Learning como un seleccionador de fases sísmicas y algoritmos de asociación, el objetivo es construir un catálogo sísmico más completo, que podría ser hasta un orden de magnitud mayor que los producidos mediante métodos convencionales. Además, esto abre la posibilidad de reprocesar datos históricos almacenados en el INPRES, lo que permitiría detectar nuevos hallazgos que los métodos tradicionales de análisis pueden haber pasado por alto.

**Agradecimientos**

A la profesora María Murazzo, al profesor Nelson Rodríguez por dirigir el trabajo y al profesor Marcelo Moreno por brindarme toda la información necesaria para realizarlo.

**Referencias**

1. Instituto Nacional de Prevención Sísmica. (2025). INPRES. https://www.inpres.gob.ar/desktop/

2. Federal Agency for Geosciences and Natural Resources. (2002). SEED Reference Manual Version 2.4. https://www.fdsn.org/pdf/SEEDManual_V2.4.pdf

3. Red Nacional de Monitoreo Sísmico: http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Red%20Nacional%20de%20Estaciones%20Sismol%C3%B3gicas-RNES-.pdf

4. AI4EPS. (n. d.). *PhaseNet: A deep-neural-network-based seismic arrival time picking method* [Repositorio de software]. GitHub. https://github.com/AI4EPS/PhaseNet/tree/main

5. Molina Godoy, R. N. (2025). *Desarrollo de un procedimiento para la generación de un conjunto de datos sísmicos de la República Argentina destinado al entrenamiento del modelo PhaseNet* [Trabajo final de licenciatura, Universidad Nacional de Rosario].

6. Zhu, W., & Beroza, G. C. (2018). *PhaseNet: a deep-neural-network-based seismic arrival-time picking method*. Geophysical Journal International, 216(1), 261–273. https://doi.org/10.1093/gji/ggy423

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aplicación del Método TOPSIS como Técnica de Apoyo a la Toma de Decisiones en Sistemas de Software.

**Joaquín Guiñazu (Autor)**
**Carlos Humberto Salgado (Tutor) – Mario Gabriel Peralta (Tutor)**

**Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico, Matemática y Naturales.**

**Abstract.**

*Los métodos de decisión multiatributo (MADM) como AHP, SAW o TOPSIS constituyen herramientas matemáticas y lógicas diseñadas para asistir en la toma de decisiones racionales en contextos donde intervienen múltiples criterios, muchas veces en conflicto. Su aplicación resulta especialmente valiosa en problemas bien definidos que requieren justificar el proceso de selección de manera transparente y objetiva. Entre estos métodos, TOPSIS destaca por su sencillez de implementación y por su capacidad de ordenar alternativas en función de su cercanía a la solución ideal y lejanía respecto de la anti-ideal, utilizando la distancia euclidiana como medida de referencia. En este trabajo se presenta un estudio del método TOPSIS orientado a su implementación en sistemas de software, analizando su proceso paso a paso, sus ventajas y desventajas, y destacando cómo puede servir de apoyo en escenarios de evaluación y comparación de alternativas. Asimismo, se revisan aplicaciones previas donde TOPSIS fue empleado para mejorar la eficiencia en la gestión de software, mostrando su potencial como técnica de soporte en el desarrollo de herramientas informáticas.*

## Introducción.

La toma de decisiones en entornos complejos suele involucrar múltiples criterios que, en muchos casos, son conflictivos entre sí. Los métodos de decisión multiatributo (MADM o MCDM por sus siglas en inglés) proporcionan un marco matemático y lógico para abordar este tipo de problemas, permitiendo a los responsables de la decisión analizar y comparar alternativas de manera estructurada.

Entre estos métodos, TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) se ha consolidado como una de las técnicas más utilizadas, gracias a la simplicidad de su procedimiento y a su capacidad para reflejar el razonamiento humano al elegir la opción más cercana a la solución ideal y más alejada de la anti-ideal. Un ejemplo cotidiano puede ilustrar su utilidad: al comprar una notebook, una persona suele considerar simultáneamente factores como la memoria RAM, la capacidad de almacenamiento, el tamaño de pantalla, la duración de la batería y el precio. Mientras algunos atributos deben maximizarse (como la batería), otros deben minimizarse (como el costo). TOPSIS permite ponderar estos criterios y establecer un ranking de alternativas que facilita la elección más conveniente.

El objetivo de este trabajo es investigar cómo la integración del método TOPSIS puede contribuir a los sistemas de software, proporcionando mecanismos más robustos de apoyo a la decisión en contextos donde existen múltiples criterios. Este análisis busca identificar los beneficios potenciales de su aplicación en áreas como sistemas de recomendación, selección de tecnologías y evaluación de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



alternativas de diseño, con el fin de fortalecer la calidad y efectividad de las soluciones informáticas.

**Distancia Euclidiana.**

Esta estrategia basa las decisiones principalmente en la alternativa que esté más alejada de la opción anti-ideal y más cercana a la solución ideal. Esta distancia es medida utilizando la distancia euclidiana que representa el camino más corto entre dos puntos del espacio euclidiano, basándose en el Teorema de Pitágoras [3]. En un espacio de n-dimensiones, la distancia euclídea entre los puntos A $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ y B $(b_1, b_2, \dots, b_n)$, es:

$$d = \sqrt{(b_1 - a_1)^2 + \dots + (b_n - a_n)^2},$$

que se puede escribir de una forma más concisa utilizando la notación sumatoria:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (b_i - a_i)^2}. \text{ [3]}$$

En síntesis, la distancia euclidiana constituye el núcleo del método TOPSIS, ya que posibilita medir de manera directa y objetiva la cercanía de cada alternativa a la solución ideal y su lejanía respecto de la anti-ideal. Su aplicación garantiza precisión en la comparación de alternativas y refuerza la eficacia del proceso de decisión multicriterio.

**Ventajas y Desventajas.**

El método TOPSIS tiene un proceso simple que lo hace fácil de programar y lo convierte en un método muy popular entre los investigadores de este campo. También es una técnica muy eficiente con una aplicación muy extendida [2]. Sin embargo, no deben subestimarse sus puntos negativos. A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas:

Las ventajas se pueden ver como:

- TOPSIS puede representar el razonamiento de la elección humana.
- El valor escalar de TOPSIS puede tener en cuenta simultáneamente las mejores y las peores alternativas.
- Tiene un proceso de cálculo simple que permite su programación en una hoja de cálculo.
- El número de atributos no afecta el número de pasos del proceso TOPSIS.

Todas estas ventajas hacen de TOPSIS un método importante dentro de los métodos de decisión multicriterio (MCDM) [2]. De todos modos, TOPSIS, enfrenta desventajas con los siguientes problemas:

- Utiliza la distancia euclidiana sin considerar la correlación entre atributos.
- En este método, la asignación de pesos es un proceso difícil e incierto.
- Es posible encontrarse con alternativas que están cerca tanto de la solución ideal como de la peor solución al mismo tiempo.
- En ocasiones, TOPSIS no es capaz de determinar con precisión datos inciertos debido a la posibilidad de juicios humanos vagos cuando la información disponible no es suficiente.
- Finalmente, un problema importante está relacionado con el fenómeno de inversión en el ranking (rank reversal). Este fenómeno ocurre cuando se altera el orden de las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



alternativas al agregar una nueva alternativa, añadir un criterio o eliminar alguno de ellos. Por otra parte, el índice de ranking aplica las distancias a los puntos ideal positivo y negativo sin considerar los pesos o la importancia relativa de dichas distancias [2].

En resumen, aunque TOPSIS es un método MCDM sencillo y aplicable, diversas críticas han impulsado el desarrollo de varias variantes modificadas y difusas de TOPSIS. En este sentido, el TOPSIS tradicional se mantiene como la base principal sobre la cual se realizan estas extensiones [2].

**El Modelo de TOPSIS.**

En términos generales, el procedimiento del algoritmo TOPSIS inicia con la construcción de la matriz de decisión, la cual representa el grado de satisfacción de cada criterio respecto de cada alternativa. Posteriormente, dicha matriz es normalizada mediante un esquema de normalización adecuado, y los valores resultantes se ponderan con los pesos asignados a los criterios. A continuación, se determinan las soluciones ideal positiva e ideal negativa, y se calcula la distancia de cada alternativa respecto de dichas soluciones a través de una medida de distancia apropiada. Finalmente, las alternativas se jerarquizan en función de su proximidad relativa a la solución ideal [2].

En este método, gracias a su forma de modelado más realista, es posible realizar compensaciones entre los criterios, ya que permite descartar un mal resultado en un criterio si se obtienen buenos resultados en otro. En todos los problemas de MCDM, se considera una matriz de decisión de $m \times n$, con $m$ alternativas y $n$ criterios, como se muestra a continuación. [2]

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

En todas las ecuaciones de esta sección, $i = 1, \ldots, m$ y $j = 1, \ldots, n$. El problema también puede incluir un vector para medir los criterios: $W = (w_1, \ldots, w_n)$ en la que debe satisfacer la siguiente ecuación:

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$$

Una vez obtenida esta matriz y el vector de pesos, podemos comenzar con los pasos que se muestran en la Fig. 1 [2].

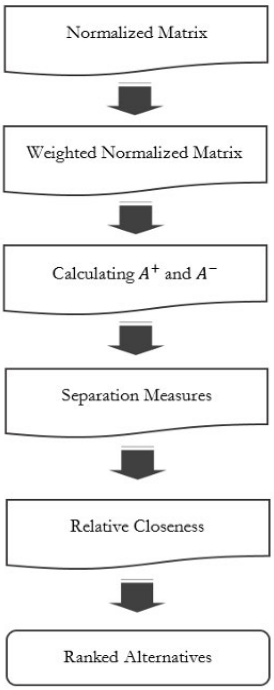



Fig. 1: Pasos del método TOPSIS. Fuente: Adaptado de Madanchian & Taherdoost (2023).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Paso 1: Normalizar la matriz de decisión.

Los criterios que tendremos en la matriz de decisión no son comparables ya que estarán en distintas unidades de medida. Para poder obtener criterios comparables deberemos normalizar la matriz. Por ejemplo: los valores de cada $x_{ij}$ de la matriz, los podremos normalizar utilizando la técnica del vector de normalización [2]:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}$$

Paso 2: Calcular la matriz normalizada ponderada.

La matriz normalizada ponderada $(V)$, puede ser calculada de la siguiente manera [2]:

$$V = (v_{ij})_{n \times m}$$

donde $v_{ij} = w_j r_{ij}$.

Paso 3: Calcular la solución ideal positiva e ideal negativa.

La solución positiva ideal es conocida como Zenith $(A^*)$, mientras que la solución ideal negativa es conocida como Nadir o anti-ideal $(A^-)$. Ambas son calculadas en este paso. Si bien estas soluciones pueden ser determinadas fácilmente por quienes toman las decisiones, esto puede añadir más subjetividad al proceso. Pueden obtenerse como la forma absoluta de un ideal positivo y negativo como [2]:

$$A^* = \{1, 1, 1, \dots, 1\}$$
$$A^- = \{0, 0, 0, \dots, 0\}$$

Estas soluciones se pueden calcular utilizando las siguientes ecuaciones:

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} = \{(^{max}_j v_{ij} \,|i \in I'), (^{min}_j v_{ij} \,|i \in I^-)\}$$
$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \{(^{min}_j v_{ij} \,|i \in I'), (^{max}_j v_{ij} \,|i \in I^-)\}$$

Estas ecuaciones muestran que $A^*$ se obtiene recopilando los mejores desempeños de $V$, mientras que $A^-$, proviene de los peores desempeños de la matriz normalizada.

Paso 4: Calcular la distancia euclidiana.

Luego de identificar las soluciones ideales positiva y negativa, en este paso calcularemos la distancia euclidiana de las alternativas a dichas soluciones. Para ello utilizaremos la fórmula de la distancia euclidiana, vista anteriormente [2]:

$$D^* = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v_j^*)^2}$$
$$D^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Paso 5: Calcular la cercanía relativa de las alternativas.

El rango del factor de la cercanía relativa está entre 0 y 1. Esto se obtiene mediante el uso de la siguiente fórmula [2]:

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^+ - D_i^-}$$

Paso 6: Rankear todas las alternativas.

La alternativa más cercana tiene un valor $C_i^*$ más aproximado a 1. Mientras que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la peor alternativa corresponde al $C_i^*$ más bajo. La mejor alternativa en la lista, es decir, la que posee el mayor valor de $C_i^*$ se considera la solución. [2]

La técnica TOPSIS constituye una herramienta de apoyo valiosa para los responsables de la toma de decisiones, ya que les permite estructurar problemas complejos, realizar análisis comparativos y establecer un ordenamiento de las alternativas. El método clásico de TOPSIS aborda problemas en los que todos los datos de decisión son conocidos y representados por números exactos. No obstante, la mayoría de los problemas reales presentan estructuras más complejas. A partir del método original, se han propuesto diversas extensiones que permiten incorporar criterios o pesos expresados en intervalos o mediante números difusos, con el propósito de modelar la imprecisión, la incertidumbre, la falta de información o la vaguedad inherente a los procesos de decisión.

**Atributos de un Software Eficiente.**

La norma ISO/IEC 25010:2011 (R ISO/MEK 25010-2015) define un modelo de calidad del producto de software que incluye ocho características principales. Los sistemas y programas juegan un papel fundamental en múltiples áreas, llegando en algunos casos a reemplazar tareas humanas para mejorar la eficiencia y la seguridad. Para garantizar sistemas y software más seguros, así como para protegerlos contra accesos no autorizados o usos indebidos, se requieren nuevas metodologías y herramientas, lo cual es un desafío complejo. [5]

La funcionalidad del software se entiende como:

- La capacidad de ejecutar determinadas funciones del software.
- La definición de su apariencia externa.
- La satisfacción de las necesidades previstas del usuario, entre otros aspectos.

Para mejorar el rendimiento del software, se pueden emplear distintas estrategias, como incorporar programas adicionales que potencien su desempeño, aprovechar al máximo las capacidades del propio software u optimizar la eficiencia de los desarrolladores. Alcanzar un alto rendimiento también requiere reducir la duración, el volumen y la cantidad de tareas, lo que puede lograrse mediante la ejecución más rápida de los procesos, la paralelización de tareas o la eliminación de actividades innecesarias. Entre las técnicas más efectivas para acelerar los procesos se incluyen el uso de caché de datos, la realización de cálculos previos, la inicialización anticipada y la ejecución de operaciones por lotes. La **compatibilidad** garantiza que los programas interactúen adecuadamente con otros componentes de hardware y software, permitiendo su ejecución consistente en diversos entornos y plataformas, lo cual es esencial para mantener un rendimiento estable. La **usabilidad** o comodidad del software minimiza el esfuerzo requerido por el usuario para interactuar con el sistema, facilitando la entrada de datos, la aplicación de funciones y la interpretación de resultados, al mismo tiempo que mejora la experiencia de uso. La **confiabilidad** asegura que el software mantenga su desempeño esperado incluso ante condiciones adversas, reduciendo la frecuencia y el impacto de fallas. La **seguridad** protege el sistema frente a

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



accesos no autorizados, errores y posibles ataques, garantizando que el software funcione sin interrupciones o consecuencias negativas. La **mantención** permite corregir errores, optimizar procesos y agregar funcionalidades, asegurando que el software continúe siendo eficiente a lo largo de su ciclo de vida. Finalmente, la **movilidad**, junto con enfoques como Software Defined Networking (SDN), permite que el software se ejecute en diferentes plataformas y facilite la administración de redes, aumentando la flexibilidad y la eficiencia operativa.

Considerando que todos estos atributos influyen en la eficiencia global del software, surge la necesidad de un enfoque que permita evaluar múltiples criterios de manera sistemática. En este sentido, el método TOPSIS es especialmente adecuado, ya que permite identificar la alternativa más eficiente al medir la proximidad de cada opción a una solución ideal positiva y su alejamiento de una solución ideal negativa, ofreciendo un marco coherente para la toma de decisiones en el desarrollo y selección de software de alto rendimiento.

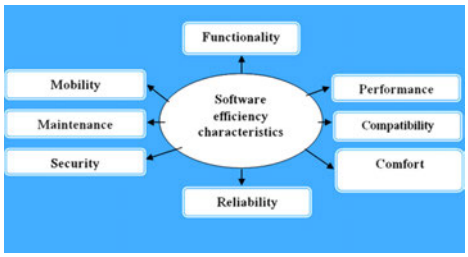



Fig. 2: Características de eficiencia en el software. Fuente: Adaptado de Mahmudova (2019).

**Desarrollando el Algoritmo para Aumentar la Eficiencia del Software mediante el Método TOPSIS.**

Diversos trabajos han demostrado que la aplicación sistemática del método TOPSIS puede contribuir significativamente a la mejora de la eficiencia y calidad de los sistemas de software, especialmente en entornos donde las decisiones deben tomarse considerando múltiples criterios técnicos y de rendimiento. En el contexto actual, caracterizado por la creciente complejidad de los sistemas distribuidos, las aplicaciones en la nube y los entornos de desarrollo ágiles, las organizaciones requieren herramientas que permitan evaluar objetivamente distintas alternativas de diseño o implementación. TOPSIS, al combinar una base matemática sólida con una estructura lógica de decisión, ofrece una metodología transparente y reproducible para apoyar estos procesos.

El uso de métodos MCDM (Multi-Criteria Decision Making) en ingeniería de software ha cobrado importancia en los últimos años, ya que permite abordar decisiones que antes dependían exclusivamente del juicio experto, reduciendo la subjetividad. En este sentido, el método TOPSIS ha sido aplicado en distintos escenarios, como la selección de frameworks de desarrollo, la evaluación de metodologías ágiles, la priorización de requerimientos, o la optimización de procesos de testing y mantenimiento [2][5][6]. Su ventaja principal radica en que no sólo clasifica las alternativas según su desempeño, sino que también cuantifica la cercanía relativa de cada opción respecto a la solución ideal, lo que brinda una interpretación más intuitiva de los resultados.

De acuerdo con la literatura, la implementación de TOPSIS sigue una secuencia de pasos bien definida:

1. **Construcción de la matriz de decisión**, que contiene los valores

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cuantificados de cada alternativa respecto a los criterios evaluados.
2. **Normalización de los valores**, para garantizar la comparabilidad entre criterios con diferentes escalas.
3. **Ponderación** según la importancia relativa de cada criterio, asignando pesos en función de su relevancia para el objetivo del análisis.
4. **Determinación de las soluciones ideal positiva y negativa**, representando respectivamente la mejor y la peor situación posible para cada criterio.
5. **Cálculo de las distancias euclidianas** de cada alternativa respecto a ambas soluciones.
6. **Obtención del coeficiente de cercanía (Ci) y posterior ordenamiento de las alternativas**, seleccionando aquella con el valor más alto como la más eficiente o preferible.

En estudios previos [5], los pasos del método **TOPSIS** fueron aplicados para evaluar distintas alternativas en un contexto de software real. En la etapa experimental, los autores implementaron el método en tres sistemas desarrollados en una misma organización:

- Personnel Information System (PIS)
- Registration Information System (RIS)
- Training-Innovation Information System (TIIS).

En el estudio, los programadores establecieron los **coeficientes de peso** para cada criterio de evaluación, con el fin de reflejar la importancia relativa de cada aspecto de la eficiencia del software. Estos coeficientes se presentan en la Tabla 1, donde se observa que las características de *performance* y *compliance* recibieron los valores más altos (0.2 cada una), al ser consideradas determinantes en la percepción global de eficiencia del sistema.

El resto de las subcaracterísticas (*functionality, ease of use, reliability, security, accompaniment* y *mobility*) se ponderaron con un peso de 0.1, manteniendo la suma total igual a 1.

| **Criterio** | **Descripción** | **Peso Asignado** |
|---|---|---|
| $X_{11}$ Functionality | Grado en que el software cumple con las funciones requeridas. | 0.1 |
| $X_{12}$ Performance | Eficiencia en el tiempo de ejecución y respuesta. | 0.2 |
| $X_{13}$ Compliance | Cumplimiento de requisitos de rendimiento esperados. | 0.2 |
| $X_{14}$ Ease of use | Facilidad de utilización e interacción del usuario. | 0.1 |
| $X_{15}$ Reliability | Estabilidad del software durante su funcionamiento. | 0.1 |
| $X_{16}$ Security | Protección frente a vulnerabilidades. | 0.1 |
| $X_{17}$ Accompaniment | Soporte técnico y mantenimiento asociado al sistema. | 0.1 |
| $X_{18}$ Mobility | Capacidad del software para operar en | 0.1 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | |
|---|---|---|
| | diferentes entornos. | |

Tabla 2: Coeficientes de peso de los criterios de eficiencia

La incorporación de estos pesos permitió que los criterios más relevantes influyeran proporcionalmente en la evaluación global, garantizando una ponderación objetiva en las etapas de normalización, cálculo de distancias y determinación de la solución ideal del método TOPSIS. Esta estructura ponderada refuerza la precisión del análisis y otorga mayor coherencia a la toma de decisiones respecto de la eficiencia de los sistemas evaluados.

Las evaluaciones, inicialmente expresadas en términos lingüísticos como "excelente", "bueno" o "débil", se tradujeron en valores numéricos para construir la matriz de decisión y aplicar los cálculos requeridos por TOPSIS. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos, donde se observa el cálculo de los valores $C$ y el $i*$ ranking final de las alternativas, lo que permitió identificar de manera objetiva la solución más eficiente.

| Software | P.I.S | R.I.S | T-I.I.S |
|---|---|---|---|
| Total | **1060** | 1040 | 910 |

Tabla 2: Resultados de aplicación del método TOPSIS a alternativas de software.

Los resultados mostraron que el método permitió identificar de manera clara las alternativas de software más eficientes en cada sistema. En el caso del *Personnel Information System*, la alternativa denominada x3 alcanzó el mejor puntaje con un total de 1060, superando a las demás opciones. En Registration Information System, las alternativas x2 y x3 obtuvieron valores similares (1030 y 1040), mientras que en Training-Innovation Information System la mejor opción llegó a 920 puntos. Al comparar los tres sistemas de manera global, el *Personnel Information System* obtuvo la calificación más alta, lo que evidenció una mayor eficiencia en su diseño y operación [5]. Estos hallazgos confirman la utilidad del enfoque TOPSIS para evaluar múltiples alternativas de software en contextos prácticos y respaldan su aplicabilidad a diferentes tipos de sistemas.

**Conclusión y Trabajos Futuros.**

En la actualidad, uno de los principales desafíos en el ámbito de la Ingeniería de Software es optimizar la eficiencia y facilitar la toma de decisiones en entornos con múltiples criterios. A partir del análisis realizado, se logró evidenciar que el método TOPSIS constituye una herramienta simple y eficaz para afrontar este tipo de problemas, ya que nos da la posibilidad de comparar alternativas de una manera objetiva. Aunque el método presenta limitaciones, como la dificultad en la asignación de pesos o la posible inversión del ranking, el mismo sigue siendo una base sólida para aplicaciones prácticas y para el desarrollo de variantes avanzadas. En este sentido, los futuros trabajos podrán centrarse en comparar TOPSIS con otros métodos MADM y en explorar su integración en sistemas de software reales, lo que abriría un camino de soluciones más robustas y eficientes para la gestión y evaluación de alternativas en el ámbito informático.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Agradecimientos**

Principalmente me gustaría agradecer a mi familia por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo. Asimismo, deseo expresar mi profundo agradecimiento al Mg. Carlos Salgado y Esp. Mario Peralta, Director y Codirector correspondiente de mi trabajo integrador final, por su constante guía, por las correcciones oportunas y por la disposición para responder cada una de mis consultas con la mejor predisposición.

## Referencias.

**[1]**
**GeeksforGeeks.** ***TOPSIS method for Multiple-Criteria Decision Making (MCDM).*** https://www.geeksforgeeks.org/data-science/topsis-method-for-multiple-criteria-decision-making-mcdm/ (visitado por última vez 23/08/2025)

**[2]**
**Madanchian, M.; Taherdoost, H.** ***A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making.*** **Sustainable Social Development, 2023.** https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4626727 (visitado por última vez 23/08/2025)

**[3]**
**Chugani, V.** ***Comprender la distancia euclidiana: De la teoría a la práctica.*** **DataCamp, 2024.** https://www.datacamp.com/es/tutorial/euclidean-distance (visitado por última vez 23/08/2025)

**[4]**
**Roszkowska, E.** ***Multi-Criteria Decision-Making Models by Applying the TOPSIS Method to Crisp and Interval Data.*** https://mcdm.ue.katowice.pl/files/papers/mcdm11(6)_11.pdf (visitado por última vez 23/08/2025)

**[5]**
**Mahmudova, S.** ***Application of the TOPSİS method to improve software efficiency and to optimize its management.*** **2019.** https://www.researchgate.net/publication/337476695_Application_of_the_TOPSIS_method_to_improve_software_efficiency_and_to_optimize_its_management (visitado por última vez 23/08/2025)

**[6]**
**Kumar, A.; Kaur, K.** ***BW-TOPSIS: A Hybrid Method to Evaluate Software Testing Techniques.*** **2022.** https://www.researchgate.net/publication/366282114_BW-TOPSIS_A_Hybrid_Method_to_Evaluate_Software_Testing_Techniques#full-text (visitado por última vez 23/08/2025)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Gamificación del alcance de proyectos mediante un videojuego desarrollado en Godot Engine

Agustín Korell Benedetti,[1] Leandro Fidel Ruano[1], Juan Cruz Ingani[1],

*(1) GIBD - Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay*

**Abstract**

*Este trabajo presenta el desarrollo de Capybara Spaceship, un videojuego serio creado con Godot Engine que integra narrativa cultural, conceptos de gestión de proyectos y técnicas de gamificación. La propuesta combina una historia inspirada en el conflicto ambiental de los carpinchos en Nordelta, Argentina, con mecánicas interactivas que reflejan etapas de la gestión de proyectos, tales como requisitos de negocio, requisitos funcionales, restricciones, supuestos y documentación. El juego, protagonizado por Cimarrón y su malón, busca no solo ofrecer una experiencia de entretenimiento, sino también constituirse en una herramienta académica para el aprendizaje y la evaluación. Se incorporaron métricas destinadas a analizar el desempeño de los usuarios, la participación de los jugadores y la efectividad del modelo de gamificación. Los resultados evidencian el potencial de Godot Engine como plataforma flexible para la creación de prototipos educativos y la importancia de integrar la identidad cultural en el diseño de entornos gamificados de aprendizaje. Cabe resaltar que este trabajo no contempla el desarrollo de métricas evaluativas ni análisis estadísticos comparativos, limitándose a referencias teóricas presentes en la literatura especializada.*

## Introducción

El desarrollo de videojuegos constituye un campo interdisciplinario que integra aspectos técnicos, creativos y metodológicos. En particular, los motores de juego de código abierto, como Godot Engine [11], han permitido a equipos reducidos y comunidades académicas explorar nuevas formas de diseño y producción con un enfoque accesible y flexible. Este entorno posibilita la incorporación de dinámicas narrativas y mecánicas que responden a problemáticas culturales y sociales [5][9].

En este marco surge el desarrollo del videojuego “Capibara Spaceship”, una propuesta narrativa y mecánica inspirada en el conflicto ambiental de los carpinchos en Nordelta, Buenos Aires[12][13][14]. A través de la figura de Cimarrón, un carpincho líder que junto a su malón busca un nuevo hábitat, la experiencia lúdica combina elementos culturales argentinos con una estructura progresiva basada en niveles y retos. Cada etapa del juego se articula con conceptos vinculados a la gestión de proyectos [1][2]: desde la identificación de requisitos de negocio y funcionales hasta la definición de restricciones, supuestos y herramientas utilizadas en la documentación. De esta manera, el avance narrativo del jugador refleja simultáneamente un proceso de aprendizaje estructurado y una práctica aplicada a la administración de proyectos.

El proyecto se desarrolló utilizando Godot Engine por sus ventajas en la implementación de interfaces 2D, la integración de recursos visuales como pixel art, la facilidad en la creación de escenas interactivas y su capacidad de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



exportación multiplataforma [11]. Además, se incorporaron recursos sonoros originales y referencias estéticas locales con el fin de reforzar la identidad cultural de la propuesta. No obstante, más allá de su dimensión artística y técnica, el juego también se concibe como un espacio de experimentación para la aplicación de métricas de desarrollo y uso [3][7], las cuales resultan fundamentales para evaluar la experiencia de usuario, el grado de participación y la efectividad de las mecánicas planteadas.

La implementación de métricas en el contexto de los videojuegos permite recopilar datos cuantitativos y cualitativos acerca del desempeño del jugador, su interacción con los elementos narrativos y la progresión a través de los niveles [3][6][7]. Así, el videojuego se plantea no únicamente como un producto de entretenimiento, sino también como una herramienta académica capaz de integrar desarrollo tecnológico, narrativa cultural y evaluación empírica [4][8][10].

Este trabajo tiene como objetivo presentar el proceso de diseño y construcción del juego del carpincho en Godot, destacando cómo las decisiones técnicas y estéticas se integran con la implementación de métricas orientadas al análisis de su impacto. Se propone así un aporte al campo de los juegos serios y la gamificación aplicada [3][4][6][9], donde la creación de experiencias interactivas se vincula directamente con la enseñanza, la investigación y la medición sistemática de resultados.

La propuesta siguiente se enfoca en el diseño del prototipo, sin incorporar herramientas de medición del aprendizaje ni contrastes cuantitativos con otras propuestas educativas más allá de lo citado en estudios previos.

**Propuesta**

El proyecto propuesto consiste en el desarrollo de un videojuego titulado “Capibara Spaceship”, utilizando el motor Godot [11]. El objetivo principal es articular entretenimiento y formación, introduciendo a los jugadores en los fundamentos de la gestión de proyectos mediante una experiencia interactiva y narrativa [1][2].

La propuesta integra una aventura conversacional en la que cada jugador avanza de manera individual mientras realiza aportes al proyecto colectivo. Este diseño busca fomentar la toma de decisiones y la comprensión de conceptos relacionados con la ingeniería de requisitos en un entorno lúdico [1][2].

La historia se inspira en el conflicto ambiental y social ocurrido en Nordelta, Argentina [12][13][14], donde la urbanización modificó el hábitat natural de los carpinchos. En el juego, los jugadores encarnan a Cimarrón, un carpincho que, frente a la invasión de su ecosistema, decide investigar el comportamiento humano y utilizar la tecnología para emprender una migración hacia un nuevo hábitat. Esta narrativa no solo aporta un trasfondo cultural y ambiental [12][13], sino que también funciona como metáfora de la adaptación y la resiliencia [5][9].

La metodología de juego se estructura en niveles que reflejan distintas etapas de un proyecto: identificación de requisitos, definición de especificaciones funcionales,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



análisis de interesados, establecimiento de requisitos de calidad, consideración de restricciones y supuestos, y documentación [1][2]. Cada avance dentro del juego representa la asimilación de un concepto clave de la gestión de proyectos, transformando el aprendizaje en un proceso dinámico y significativo [3][6].
El alcance de la propuesta contempla la creación de un videojuego en 2D con estética pixel-art, acompañado de música e identidad visual inspiradas en la cultura Argentina. Se espera obtener como resultado un prototipo jugable que demuestre la viabilidad de transmitir conceptos de gestión de proyectos a través de la gamificación [3][4][6], potenciando tanto la motivación como la retención de conocimientos en estudiantes de ingeniería [8][10].

En cuanto a la escalabilidad del prototipo, su diseño modular en Godot permite adaptar la narrativa y las mecánicas a distintos contextos educativos, como cursos de ingeniería o administración. Por ejemplo, podrían desarrollarse nuevas misiones que aborden otras áreas del ciclo de vida de un proyecto, como la gestión de riesgos, el control de costos o la comunicación con stakeholders. Asimismo, el juego podría personalizarse para distintos niveles de formación, desde introducciones lúdicas en escuelas secundarias hasta simulaciones más complejas en entornos universitarios o corporativos.

## Gamificación con Godot Engine

Godot Engine es un motor de videojuegos gratuito, integral y multiplataforma que facilita la creación de juegos en 2D y 3D [11]. La propuesta de gamificación aquí presentada se centra en las aventuras de un carpincho llamado Cimarrón, a través del cual se recolecta información y se abordan nociones vinculadas a la gestión de proyectos [1][2][3].

### Plataforma

Godot es un motor de videojuegos 2D y 3D multiplataforma, libre y de código abierto, publicado bajo la Licencia MIT [11] y desarrollado por la comunidad Godot. Su origen se remonta a la empresa argentina OKAM Studios, que comenzó a utilizarlo internamente hacia 2001 [11]. Actualmente, el motor permite exportar videojuegos a PC (Windows, OS X y Linux), dispositivos móviles (Android e iOS), y navegadores mediante HTML5 [11].

- **Propuesta de juego**: Esta implementación utiliza Godot como soporte para gamificar la recopilación de datos.
- **Nombre**: El prototipo se denomina ‘Capibara Spaceship’, en referencia al eje narrativo de la historia.
- **Tipo de juego**: Se plantea como una aventura conversacional que contempla la fase inicial de la gestión de un proyecto. Cada miembro del equipo avanza en su propio recorrido individual, aportando al mismo tiempo al proyecto colectivo.
- **Aspecto visual y artístico**: La propuesta incluye estética pixel art y música original como parte de la experiencia gamificada (ver Tabla I).

### Música en la versión con Godot

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| **Autor y nombre de la canción** | **Uso en el juego** |
|---|---|
| Sergio "Nardo" González – Sendero del Capibara | Menú principal, créditos, final |
| Sergio "Nardo" González – Hermano Capibara | Durante el juego |

- **Iluminación, colores, interfaz de usuario y animaciones**: Se emplean texturas, paletas cromáticas y detalles vinculados a la naturaleza y a las costumbres argentinas. La interfaz es 2D, con sprites y assets elaborados mediante pixel art. Los diseños priorizan la claridad, la intuitividad y la comodidad visual, evitando la fatiga ocular dada la recurrencia de uso.

- **Personajes**: El protagonista es Cimarrón, líder de la rebelión de carpinchos, cuyo nombre alude tanto al carácter indomable del animal como al mate amargo de la tradición argentina. El jugador se representa en el Malón, grupo de carpinchos que colaboran con Cimarrón en la aventura. El nombre hace referencia a las incursiones históricas conocidas como "malones", asociadas a la tradición argentina.



Figura 1: El carpincho Cimarrón, protagonista del videojuego.

- **Historia**: Motivados por el calentamiento global y la invasión de su hábitat natural, los carpinchos de Nordelta estudian el comportamiento humano con el objetivo de evolucionar y emprender un viaje fuera del planeta en busca de un hábitat que les permita desarrollarse y mejorar su calidad de vida.

**Contexto**

En 2014 se visibilizó una situación crítica en Nordelta, urbanización privada ubicada en el norte de Buenos Aires, Argentina [12][13][14]. La presencia creciente de carpinchos generó preocupación entre los vecinos, quienes manifestaron que los animales invadían sus terrenos y en algunos casos atacaban a sus mascotas. Hacia 2020 se estiman alrededor de 400 ejemplares, con un crecimiento poblacional del 17 % entre 2020 y 2021 [13][14]. De continuar esa tendencia, la población podría superar los 3000 individuos en 2022, lo que agudizaba la tensión del conflicto.

Diversos especialistas explicaron que la problemática se debía a la ausencia de estudios de impacto ambiental en la construcción del barrio [13], lo que desplazó especies autóctonas como yaguaretés, ocelotes y cánidos. Instituciones como la Dirección de Flora y Fauna, el municipio de Tigre, investigadores del CONICET y representantes de la Asociación Vecinal de Nordelta discutieron posibles

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



soluciones [12][13]. Se propuso establecer áreas específicas para la fauna con suficiente vegetación, pero parte de los vecinos no adhirieron a estas medidas y se registraron agresiones hacia los animales.

Frente a estas condiciones, Cimarrón, líder de los carpinchos, decidió que la convivencia en Nordelta no era viable y que debían emprender una búsqueda de un nuevo hábitat. La misión implicaba investigar el comportamiento humano para descubrir estrategias que los guiaran en su migración.

**Mecánicas del juego**

El juego se estructura en niveles progresivos, en los que las acciones de los jugadores se vinculan con conceptos de la gestión de proyectos:

**Nivel 1 – Accediendo a la casa**: Los carpinchos deben construir un puente de troncos para ingresar a una vivienda con dispositivos tecnológicos. Cada tronco se obtiene al ingresar requisitos de negocio. Con diez troncos se completa el puente. Una vez conseguidos los troncos, una garza blanca aparece indicando al jugador el camino por el cual continuar.

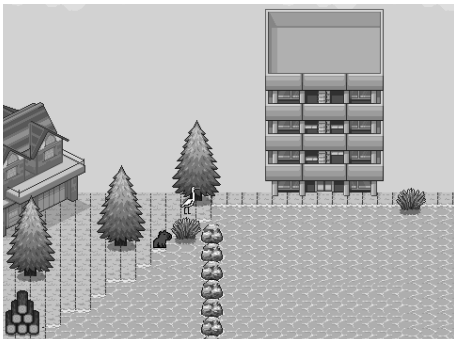


Figura 2: Cimarrón junto a la garza blanca.

**Nivel 2 – En búsqueda de tecnología**: El objetivo es conseguir una computadora que provea recomendaciones. Con cada respuesta, el jugador obtiene una moneda que le permitirá acceder posteriormente a la computadora. La misma aparece cuando el jugador aporta los requisitos funcionales y no funcionales.

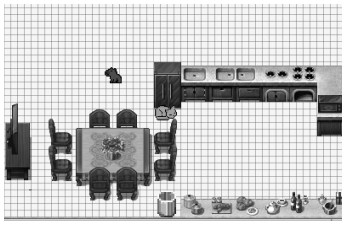


Figura 3: Cimarrón dentro de la casa.

**Nivel 3 – En búsqueda de información**: Los carpinchos recurren a la inteligencia artificial. Las respuestas se habilitan al ingresar información sobre los requisitos de stakeholder. Con cada respuesta, las recompensas son estrellas, que representan los puntos para poder entablar una conversación con la IA.

**Nivel 4 – Se ingresa a una IA**: La IA provee las piezas necesarias para poder armar la nave posteriormente. Cada parte se obtiene al responder sobre requisitos de proyecto y de calidad. Una vez hecho esto, el jugador debe conseguir la vestimenta de científico y dirigirse al garaje para pasar al siguiente nivel.

**Nivel 5 – Armado de la nave**: El carpincho debe construir la nave para poder despegar. Cada pieza y herramientas de la nave se obtienen al

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ingresar restricciones y suposiciones. Con 5 piezas de nave y 18 chapas.

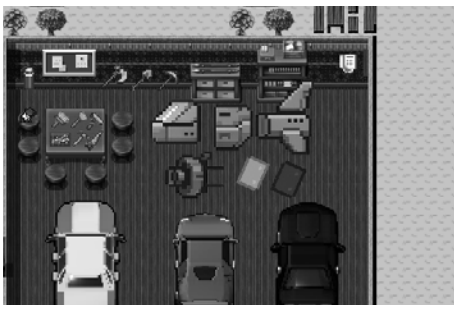


Figura 4: Cimarrón junto a las piezas y herramientas para armar la nave.

**Final – ¡Los carpinchos van al espacio!** Superadas las condiciones de cada nivel, el jugador puede continuar aportando al proyecto y acumular logotipos de la UTN como insignias de progreso. Esto funciona como incentivo competitivo y refuerza la motivación hacia la colaboración en el proceso gamificado.

**Conclusiones y trabajo futuro**

El desarrollo del videojuego "Capibara Spaceship" permitió explorar la integración entre narrativa cultural, herramientas de desarrollo de software y dinámicas de gamificación aplicadas a la gestión de proyectos [20][21][6][9]. A través de Godot Engine se logró implementar una propuesta lúdica que, además de recrear una problemática socioambiental de relevancia en la Argentina [12][13], incorpora conceptos clave de la administración de proyectos en una experiencia interactiva y accesible [1][5].

El uso de mecánicas progresivas vinculadas a requisitos de negocio, requisitos funcionales, restricciones, supuestos y herramientas de documentación demostró que es posible vincular aprendizajes teóricos con la práctica mediante la simulación [20][21][6]. Asimismo, la incorporación de métricas de uso abre la posibilidad de evaluar no solo el desempeño técnico de los jugadores, sino también la apropiación de los contenidos y la efectividad del modelo de gamificación implementado [7][8][10].

Entre las principales conclusiones se destaca que el motor Godot ofrece un entorno ágil y flexible para la construcción de prototipos educativos con identidad cultural propia [11], y que la narrativa basada en Cimarrón y su malón constituye un recurso eficaz para motivar la participación del usuario [5][9]. Sin embargo, el desafío radica en consolidar un modelo de evaluación que permita cuantificar los aportes de cada jugador y analizar los resultados con un enfoque estadístico más riguroso.

Como trabajo futuro, se plantea:

- Profundizar en la definición de métricas que capturen con mayor precisión el nivel de aprendizaje y colaboración entre los jugadores.
- Implementar mecanismos automáticos de registro y análisis de datos dentro del propio juego, de modo de reducir la dependencia de evaluaciones externas.
- Extender la experiencia hacia nuevos niveles o misiones que incorporen otras áreas de la gestión de proyectos, favoreciendo la escalabilidad del prototipo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Contrastar los resultados obtenidos con investigaciones previas en el ámbito de la gamificación y los juegos serios, a fin de validar la propuesta dentro de un marco académico más amplio.

En síntesis, "Capibara Spaceship" Capibara constituye un avance inicial hacia la utilización de videojuegos como herramientas de enseñanza y evaluación en contextos académicos y profesionales, consolidando un puente entre el desarrollo tecnológico, la cultura local y la formación en gestión de proyectos.

**Referencias**

[1] Pmbok Guide (2021) A Guide to the Project Management Body of Knowledge. 7 Ed. Project Management Institute. ISBN: 978-1628256796.

[2] ISO (2012) ISO 21500:2012 Guidance on Project Management, Geneva: ISO.

[3] Y. Attali, M. Arieli-Attali (2015) Gamification in assessment: Do points affect test performance? Computers & Education 83(2):57-63.

[4] J. Simões, R. Redondo, A. Vilas (2013). A social gamification framework for a K-6 learning platform. Computers in Human Behavior, 29(2), 345-353.

[5] L. Garm Lucassen, J. Slinger (2014) Gamification in Consumer Marketing - Future or Fallacy? Procedia - Social and Behavioral Sciences 148:194–202.

[6] D. Schoech, J. Boyas, B. Black, N. Elias- Lambert (2013) Gamification for Behavior Change. J. of Tech. in Human Services 31(3): 197-217.

[7] A. Suh, C. Wagner, L. Liu (2015) The Effects of Game Dynamics on User Engagement in Gamified Systems. Proc. 48th Int. Conf. on System Sciences (HICSS), pp. 672-681.

[8] A. Suh, C. Wagner, L. Liu (2018) Enhancing User Engagement through Gamification. Journal of Computer Information Systems, 58 (3), pp. 204-213.

[9] S. Dale (2014) Gamification: making work fun, or making fun of work? Business Information Review, 31(2), 82-90.

[10] K. Muszyńska (2020) Gamification of communication and documentation processes in project teams. Procedia Computer Science. Vol. 176, Pp 3645-3653.

[11] Godot Engine Documentation (2023). https://docs.godotengine.org/en/stable/index.html

[12] G. Iglesias (2021) Una invasión de carpinchos agita la guerra de clases en Argentina. Elpais.com

[13] A. Horvat (2022) ¿Atacados? Mitos y realidad de la vida de los carpinchos en Nordelta, a un año de las denuncias de los vecinos. Clarín.com

[14] Agrofy News (2021) Qué pasó con los carpinchos de Nordelta. news.agrofy.com.ar

**Datos de Contacto**

*Agustín Korell Benedetti. Universidad Tecnológica Nacional. 2826. aguskorell.b@gmail.com*

*Leandro Fidel Ruano. Universidad Tecnológica Nacional. 2826. leandrofidelruano@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Juan Cruz Ingani. Universidad Tecnológica Nacional. 2826. juancruzingani@gmail.com*

*Capítulo*

# 8

# *Informática Forense y Seguridad Informática*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# El aporte de la Inteligencia Artificial a la seguridad en sistemas de Internet de las Cosas: un análisis crítico y prospectivo

*Jorge Eterovic; Edith García; Luis Torres*
*Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología.*
*Vice-Rectorado de Investigación y Desarrollo. Universidad del Salvador*
*Lavalle 1854. C1051 AAB. Buenos Aires, Argentina*
*{jorge.eterovic; edith.garcia; luisantonio.torres}@usal.edu.ar*

## Resumen

El crecimiento exponencial de dispositivos conectados en entornos de Internet de las Cosas (IoT) ha introducido importantes desafíos en materia de seguridad informática.

Las soluciones tradicionales resultan insuficientes frente a amenazas cada vez más sofisticadas, lo que ha impulsado la búsqueda de enfoques innovadores como la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial (IA).

Este trabajo analiza el papel actual y potencial de la IA en la mejora de la seguridad de sistemas IoT, explorando su aporte a la detección de anomalías, la autenticación y autorización inteligente, la protección de datos sensibles y la mitigación de ataques como los de DDoS.

Se revisan enfoques recientes basados en aprendizaje automático, redes neuronales y procesamiento de lenguaje natural aplicados a la ciberseguridad de IoT.

Finalmente, se proponen líneas de investigación futuras y se reflexiona sobre los desafíos aún pendientes para consolidar ecosistemas IoT seguros, resilientes y autónomos.

**Palabras clave:** Inteligencia Artificial; Seguridad de Internet de las Cosas; Aprendizaje automático; Ciberseguridad.

## Introducción

El paradigma del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) ha transformado radicalmente la forma en que interactuamos con el entorno, interconectando dispositivos físicos con redes digitales capaces de recopilar, procesar y compartir información en tiempo real [1]. Desde electrodomésticos inteligentes hasta sensores industriales, la proliferación de dispositivos conectados ha generado un ecosistema dinámico, distribuido y altamente dependiente del procesamiento automatizado de datos.

No obstante, esta expansión masiva no ha ido acompañada de un desarrollo proporcional en los mecanismos de seguridad. El diseño liviano y heterogéneo de muchos dispositivos IoT, sumado a su débil capacidad de procesamiento y almacenamiento, limita la aplicación de soluciones criptográficas tradicionales, dejando amplias superficies de ataque disponibles para actores maliciosos [2]. Las amenazas incluyen accesos no autorizados, suplantación de identidad, explotación de vulnerabilidades no parcheadas, ataques distribuidos de denegación de servicio (DDoS), y exposición de datos sensibles.

En este escenario, la Inteligencia Artificial emerge como una tecnología con alto potencial para complementar y mejorar los mecanismos de defensa de los sistemas IoT. Mediante algoritmos de aprendizaje automático y técnicas de detección inteligente, la IA puede identificar patrones anómalos de comportamiento, anticipar amenazas, reforzar procesos de autenticación y proteger la privacidad de los datos transmitidos [3].

Este trabajo se propone realizar un análisis crítico del aporte de la IA a la seguridad en IoT, partiendo de una revisión del estado del arte, los desafíos técnicos actuales y las soluciones emergentes. Además, se identificarán líneas de investigación prioritarias para avanzar hacia entornos IoT más seguros, autónomos y resilientes.

## Metodología del estudio

Este trabajo adopta una metodología cualitativa de revisión crítica, basada en el análisis documental de fuentes académicas y técnicas recientes. Se han considerado artículos científicos indexados, normas técnicas internacionales (como las publicadas por el NIST), y experiencias previas de implementación en entornos reales. Las referencias clave incluyen trabajos de Ciuta [1], Fagan et al. [2], y Mazhar et al. [3], entre otros.

El proceso metodológico incluyó las siguientes etapas:

- **Selección de fuentes**: Se identificaron artículos relevantes a través de bases académicas como IEEE Xplore, Scopus, ScienceDirect y trabajos presentados en congresos nacionales (WICC, CoNaIISI y CACIC).
- **Categorización temática**: Las fuentes fueron clasificadas en tres grandes ejes: amenazas actuales en IoT, aplicaciones de IA en seguridad, y desafíos futuros.
- **Análisis crítico**: Se contrastaron los enfoques actuales de IA con las limitaciones inherentes de los dispositivos IoT, evaluando la viabilidad de implementación en distintos escenarios.

Este enfoque permite no solo sistematizar el conocimiento existente, sino también identificar vacíos y oportunidades de innovación tecnológica.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Estado del Arte de la seguridad en IoT

La seguridad en sistemas IoT representa uno de los desafíos más complejos en el ámbito de la ingeniería de software y redes distribuidas. A diferencia de las arquitecturas tradicionales, los sistemas IoT presentan una serie de vulnerabilidades específicas, derivadas de su diseño heterogéneo, su bajo poder de cómputo y la limitada estandarización en protocolos de seguridad [4].

Las principales amenazas a la seguridad de los dispositivos IoT pueden resumirse en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales amenazas en IoT y soluciones posibles mediante IA

| Amenaza en IoT | Descripción | Solución basada en IA |
|---|---|---|
| Diversidad de dispositivos | Diferentes fabricantes, sistemas operativos y protocolos generan inconsistencias en seguridad | Modelos de IA adaptativos capaces de aprender patrones en entornos heterogéneos |
| Limitaciones de hardware | Baja capacidad de procesamiento, almacenamiento y memoria | Algoritmos ligeros de machine learning (TinyML, Intelligent Edge Computing) |
| Autenticación débil | Uso de contraseñas por defecto o mecanismos triviales de autenticación | Autenticación multifactor (MFA) con inteligencia artificial (AI) combina múltiples métodos de verificación y autenticación. |
| Ausencia de actualizaciones | Dispositivos sin mantenimiento o parches de seguridad | Análisis predictivo de vulnerabilidades basados en patrones de ataques previos. |
| Ataques DDoS y botnets | Saturación de servicios mediante redes de dispositivos comprometidos | Modelos de detección temprana y respuesta autónoma (sistemas IDS con IA) |
| Robo y exposición de datos sensibles | Interceptación o mal uso de información personal o corporativa | Técnicas de privacidad diferencial, anonimización y monitoreo |
| | | inteligente del tráfico |
| Amenazas en la cadena de suministro | Riesgos en etapas de fabricación, transporte e integración de componentes IoT | IA aplicada a trazabilidad, control de firmware y validación de integridad |

Como puede observarse, la aplicación de Inteligencia Artificial no solo permite detectar o prevenir ataques, sino que abre el camino hacia sistemas IoT más autónomos, capaces de adaptarse al contexto y aprender de situaciones pasadas.

En la próxima sección se desarrollan las aplicaciones específicas de la IA en cada uno de estos frentes, con ejemplos de técnicas actuales y casos de uso emergentes.

## Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en la seguridad de IoT

La incorporación de Inteligencia Artificial en la seguridad de IoT constituye un cambio de paradigma frente a los mecanismos tradicionales basados en reglas estáticas. A través del aprendizaje automático y otras técnicas asociadas, es posible detectar, anticipar y mitigar ataques en tiempo real, adaptando las respuestas al comportamiento dinámico de los dispositivos y usuarios [5].

A continuación, se describen las principales áreas donde la IA ofrece ventajas concretas en la protección de sistemas IoT:

**Detección de anomalías y ciberamenazas**

Uno de los aportes más significativos de la IA a la seguridad de IoT es su capacidad para detectar comportamientos anómalos que podrían indicar un intento de ataque o una vulnerabilidad explotada.

Los sistemas de detección de intrusos (IDS) basados en IA utilizan modelos de clasificación y análisis estadístico para identificar desviaciones en el tráfico de red, accesos irregulares o cambios inusuales en el funcionamiento de los dispositivos. Algoritmos como SVM (Support Vector Machines), Random Forest y redes neuronales recurrentes (RNN) han mostrado gran efectividad en este campo [3].

Además, el uso de aprendizaje no supervisado permite detectar ataques nuevos o desconocidos, mediante la identificación de patrones no registrados previamente, lo cual es especialmente útil en ambientes con alta variabilidad de dispositivos [6].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Autenticación y autorización inteligente**

Los sistemas de autenticación tradicionales suelen ser insuficientes para el ecosistema IoT, donde muchos dispositivos no cuentan con interfaces humanas o con recursos para soportar las técnicas criptográficas tradicionales. En este contexto, la IA permite diseñar mecanismos más inteligentes, basados en:

- **Autenticación Biométrica**, refiere dos tipos: autenticación física (physical authentication) rostro, dedo, DNA, etc. y autenticación por comportamiento (behavioral authentication) patrones de uso, tiempo de respuesta.
- **Autenticación adaptativa**: que ajusta el nivel de seguridad requerido en función del riesgo detectado en tiempo real.
- **Reconocimiento de dispositivos**: identificación de artefactos mediante características únicas de su hardware o patrón de red.

Por otra parte, en lo que respecta a autorización, la IA puede gestionar los permisos de acceso de forma dinámica, basándose en contextos de uso y políticas de seguridad aprendidas. Esto mejora significativamente los esquemas de Identity and Access Management (IAM) en entornos distribuidos.

**Protección de la privacidad de los datos**

Los dispositivos IoT generan y transmiten enormes volúmenes de datos sensibles, cuya protección es crítica tanto para usuarios individuales como para organizaciones. Para gestionar eficazmente la privacidad de los datos en este contexto, es necesario considerar cuidadosamente las prácticas de recolección de datos, almacenamiento, procesamiento y uso de datos.

La IA puede contribuir mediante:

- **Enmascaramiento de datos**: utilizando técnicas como el ruido diferencial para ocultar información personal sin afectar su utilidad analítica.
- **Aprendizaje Federado**: permite el entrenamiento de modelos en datos distribuidos sin compartir los datos sin procesar.
- **Clasificación automática de datos sensibles**: para aplicar políticas de privacidad diferenciadas según el contenido.
- **Monitoreo continuo de accesos**: detectando usos indebidos, accesos sospechosos o violaciones a políticas internas.

Estas soluciones permiten implementar mecanismos de privacidad por diseño, más allá del mero acompañando los procesos de encriptado de datos.

**Prevención de ataques DDoS y amenazas en la cadena de suministro**

Los ataques distribuidos de denegación de servicio (DDoS) representan una amenaza recurrente en IoT, especialmente porque muchos dispositivos pueden ser comprometidos y transformados en Bots sin intervención del usuario.

La IA permite detectar este tipo de ataques a través de análisis de tráfico en tiempo real, aprendizaje de patrones históricos de uso y respuesta automática mediante aislamiento o modificación del flujo de datos. Asimismo, pueden integrarse algoritmos de defensa activa que tomen decisiones autónomas ante incidentes de seguridad.

En cuanto a la cadena de suministro de dispositivos IoT, donde se originan muchas vulnerabilidades, la IA puede ser usada para:

- **Analizar firmware** en busca de puertas traseras o componentes inseguros.
- **Trazar el ciclo de vida del dispositivo,** detectando irregularidades en la distribución o instalación.
- **Predecir fallas de seguridad** según el historial del fabricante o configuraciones previas.

En conjunto, estas aplicaciones demuestran que la IA no solo puede mejorar los mecanismos tradicionales de seguridad, sino también generar un enfoque proactivo, predictivo y adaptativo, orientado a ecosistemas en permanente evolución.

## Análisis de las soluciones existentes

En los últimos años, la convergencia entre Inteligencia Artificial y seguridad en IoT ha generado múltiples soluciones propuestas en entornos académicos, industriales y regulatorios [7]. Sin embargo, el análisis crítico de dichas propuestas permite observar avances desiguales, brechas técnicas, y desafíos aún pendientes para una adopción efectiva y segura [8].

A continuación, se examinan algunas de las soluciones más relevantes reportadas en la literatura y se destacan sus fortalezas, limitaciones y nivel de madurez tecnológica.

**Soluciones basadas en aprendizaje automático supervisado**

Los modelos supervisados, como Support Vector Machines (SVM), Random Forest o árboles de decisión, han sido ampliamente utilizados para entrenar sistemas de detección de intrusos (IDS) en redes IoT. Estas técnicas permiten una alta precisión en la detección de ataques conocidos, como inyecciones de comandos, escaneo de puertos o tráfico anómalo.

Las principales ventajas son:

- Facilidad de entrenamiento con conjuntos de datos etiquetados (como NSL-KDD o CICIDS).
- Bajo costo computacional.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Fácil integración en Gateways o nodos intermedios de la red.

Las limitaciones son las siguientes:

- Requieren datasets amplios y representativos.
- Poca capacidad de respuesta frente a ataques nuevos o combinados.
- Dificultad para adaptarse a ambientes altamente dinámicos y heterogéneos.

**Soluciones basadas en aprendizaje no supervisado y redes neuronales**

Técnicas como clustering (K-means, DBSCAN) y modelos basados en autoencoders permiten detectar anomalías sin necesidad de etiquetar datos, lo que las vuelve adecuadas para contextos donde las amenazas no están completamente definidas.

Los enfoques más avanzados integran redes neuronales profundas (DNN), especialmente redes recurrentes (RNN) o redes convolucionales (CNN), aplicadas a la secuencia de eventos de red, señales de sensores o logs de actividad.

Las principales fortalezas son:

- Capacidad para detectar comportamientos inéditos o complejos.
- Escalabilidad frente a grandes volúmenes de datos.
- Adaptabilidad a contextos dinámicos.

Las desventajas son las siguientes:

- Alto requerimiento de procesamiento, lo que limita su implementación en nodos IoT finales.
- Dificultad para explicar su comportamiento (caja negra).
- Dependencia de un entorno de entrenamiento controlado.

**Soluciones híbridas y basadas en edge computing**

Algunas propuestas combinan algoritmos ligeros de IA con esquemas de computación en el borde (edge computing), donde el procesamiento se realiza en dispositivos intermedios como Gateways o Routers inteligentes. Este enfoque equilibra el consumo de recursos con la latencia y privacidad de los datos.

Un ejemplo destacado es el uso de TinyML, es decir, aprendizaje automático ultraligero optimizado para microcontroladores, que permite ejecutar modelos básicos de detección o autenticación directamente en dispositivos IoT de bajo costo [5].

Los principales aportes son:

- Reducción de la dependencia de la nube.
- Mejora de la privacidad por mantener los datos localmente.
- Resiliencia ante fallos de red o desconexión.

Los desafíos son los siguientes:

- Complejidad de diseño y entrenamiento distribuido.
- Menor capacidad de almacenamiento de conocimiento histórico.
- Riesgo de inconsistencias entre nodos de decisión.

**Evaluación de estándares y lineamientos regulatorios**

El marco propuesto por el NIST en su catálogo SP 800-213A proporciona una guía detallada de requisitos de ciberseguridad para dispositivos IoT utilizados en agencias gubernamentales [2]. Si bien no está centrado en IA, sí reconoce su utilidad para tareas como monitoreo continuo, gestión de accesos y validación de firmware.

Sin embargo, aún se percibe una falta de estandarización clara sobre cómo integrar IA en esquemas regulatorios sin comprometer la privacidad, la transparencia o la responsabilidad legal en caso de errores.

A continuación, en la Tabla 2 se muestra una síntesis comparativa de cada una de los tipos de soluciones con sus principales fortalezas y limitaciones.

Tabla 2. Síntesis comparativa

| Tipo de solución | Fortalezas | Limitaciones |
|---|---|---|
| Machine Learning supervisado | Precisión alta en ataques conocidos | Poca adaptación a amenazas nuevas |
| Machine Learning no supervisado | Detección de anomalías complejas, buena escalabilidad | Alta carga computacional, baja interpretabilidad |
| IA en edge computing | Baja latencia, privacidad, ejecución local | Recursos limitados, diseño complejo |
| Marcos regulatorios (NIST) | Guías estructuradas, interoperabilidad | Escasa integración nativa con IA, falta de estándares unificados |

Resumiendo, si bien existe un amplio abanico de soluciones viables y casos de uso exitosos, su adopción a gran escala todavía enfrenta desafíos técnicos, económicos y normativos. El desarrollo de sistemas IA seguros, transparentes y explicables, así como su implementación en arquitecturas distribuidas heterogéneas, continúa siendo uno de los aspectos a investigar.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Desafíos y limitaciones actuales

A pesar del potencial de la Inteligencia Artificial para reforzar la seguridad en sistemas de Internet de las Cosas (IoT), su implementación efectiva enfrenta una serie de obstáculos técnicos, operativos, éticos y normativos. Estos desafíos deben ser abordados tanto desde la investigación como desde el diseño de políticas públicas y estándares tecnológicos.

A continuación, se presentan los principales factores limitantes:

**Limitaciones de hardware en dispositivos IoT**

La mayoría de los dispositivos IoT están diseñados con recursos computacionales mínimos, lo que dificulta la ejecución de modelos complejos de IA, especialmente aquellos basados en redes neuronales profundas o algoritmos de alto consumo energético.

Esta restricción impone un límite directo a la posibilidad de ejecutar inteligencia artificial en el borde (edge), forzando la dependencia de servicios externos (nube), lo que implica mayor latencia, menor privacidad de los datos y riesgo de interrupción en caso de desconexión de red.

**Falta de datasets representativos y actualizados**

Los sistemas basados en aprendizaje automático requieren grandes volúmenes de datos etiquetados y actualizados para entrenarse y ajustarse a nuevos escenarios.

Sin embargo, en entornos IoT, los datos pueden estar distribuidos, fragmentados o protegidos por restricciones de privacidad. Los riesgos son entrenamientos sesgados, pobre generalización y aumento de los falsos positivos o negativos.

**Transparencia y confianza en los modelos de IA**

Muchos de los modelos utilizados para seguridad (por ejemplo, redes neuronales profundas) funcionan como "cajas negras", dificultando la explicación de sus decisiones y generando desconfianza en su uso para sistemas críticos, como instalaciones industriales, salud o infraestructura pública.

El desafío consiste en desarrollar sistemas de IA explicable (Explainable AI - XAI) que brinden transparencia sin comprometer el rendimiento [9].

**Riesgos de manipulación de un intruso**

Los modelos de IA pueden ser vulnerables a ataques por parte de un intruso, donde un atacante introduce entradas especialmente diseñadas para engañar al sistema de detección o clasificación. Esto puede derivar en fallas de autenticación, evasión de alertas o respuestas erróneas.

Las consecuencias son la pérdida de integridad del sistema y la generación de una falsa sensación de seguridad.

**Interoperabilidad y estándares fragmentados**

En el ecosistema IoT no existe aún un estándar universal de seguridad ni de implementación de IA. Cada fabricante emplea sus propias arquitecturas, protocolos y políticas, lo que dificulta la interoperabilidad de soluciones de seguridad basadas en IA.

Como resultado de esto, se requieren soluciones personalizadas, de difícil escalabilidad y con un aumento de los costos.

**Cuestiones éticas, legales y de privacidad**

El uso de IA en entornos IoT plantea importantes preguntas éticas y legales:

- ¿Quién es responsable si un modelo falla?
- ¿Qué garantías tiene el usuario sobre cómo se procesan sus datos?
- ¿Cómo se previene la vigilancia no autorizada a través de IA?

A su vez, los marcos regulatorios actuales (como el GDPR europeo o la Ley de Protección de Datos Argentina) no abordan de forma integral la dinámica específica de los entornos IoT con IA.

En la Tabla 3 se muestran los distintos desafíos, sus consecuencias directas y las necesidades de los mismos.

Tabla 3. Resumen de los desafíos

| Desafíos | Consecuencia | Necesidad |
|---|---|---|
| Recursos limitados en dispositivos | No se puede ejecutar IA localmente | Modelos livianos (TinyML, IA distribuida) |
| Datasets fragmentados o sesgados | Baja precisión y generalización | Curación colaborativa de datos, federated learning |
| Falta de transparencia | Desconfianza en entornos críticos | Incorporación de XAI (Explainable AI) |
| Vulnerabilidad a ataques | Manipulación del modelo y evasión de defensas | IA robusta, pruebas de ataques |
| Estándares fragmentados | Baja interoperabilidad y escalabilidad | Marcos regulatorios y técnicos comunes |
| Riesgos ético-legales | Conflictos normativos, violaciones de privacidad | Revisión legal y ética desde el diseño (*ethics by design*) |

Estos desafíos no deben verse como barreras definitivas, sino como puntos críticos a abordar para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



consolidar un ecosistema IoT seguro y confiable, potenciado por la inteligencia artificial. Superarlos requiere una colaboración multidisciplinaria entre ingenieros, legisladores, académicos y fabricantes.

## Futuras líneas de investigación

A partir del análisis realizado, es posible identificar una serie de líneas estratégicas de investigación que permitan consolidar el papel de la Inteligencia Artificial como eje transversal en la mejora de la ciberseguridad de los entornos IoT [10]. Estas propuestas combinan innovación tecnológica con principios éticos, escalabilidad y sostenibilidad operativa.

**Desarrollo de modelos de IA livianos y eficientes para dispositivos IoT**

Es esencial impulsar el diseño de algoritmos de aprendizaje automático optimizados para ejecutarse en dispositivos de bajo consumo y capacidad limitada, conocidos como TinyML. Esto incluye:

- Compresión de modelos (quantization, pruning).
- Entrenamiento descentralizado (federated learning).
- Implementación de IA en microcontroladores y nodos edge.

El impacto esperado es una mayor autonomía en la detección y respuesta a amenazas en el borde de la red, una reducción de latencia y una mejora en la privacidad.

**Implementación de sistemas de IA explicable (XAI) para seguridad IoT**

Frente a la creciente demanda de transparencia en sistemas críticos, es prioritario desarrollar herramientas de IA explicable que permitan comprender cómo y por qué un sistema toma una decisión ante un posible incidente de seguridad.

Esto puede lograrse mediante:

- Visualización de decisiones en tiempo real.
- Sistemas híbridos que combinen reglas humanas con decisiones inteligentes.
- Validación formal de modelos ante auditorías o entornos regulados.

El impacto esperado es el aumento de la confianza de usuarios y organismos reguladores y el fortalecimiento de entornos como salud, energía e industria 4.0.

**Arquitecturas de seguridad colaborativa con aprendizaje federado**

En lugar de depender de centros de datos centralizados, se propone una arquitectura distribuida donde múltiples dispositivos colaboren en el entrenamiento de modelos globales sin intercambiar datos sensibles. Este enfoque protege la privacidad y mejora la capacidad de adaptación a contextos locales.

Las posibles aplicaciones son:

- Detección descentralizada de amenazas en redes de sensores.
- Modelos actualizados en tiempo real sin comprometer la privacidad.
- Aprendizaje contextualizado por zona geográfica o tipo de dispositivo.

El impacto esperado es la reducción de vulnerabilidades emergentes sin sacrificar eficiencia ni privacidad.

**Integración de IA con blockchain y contratos inteligentes**

La integración entre IA y tecnologías de registro distribuido (DLT) representa un campo emergente con gran potencial. A través del uso de blockchain, es posible:

- Auditar decisiones de IA.
- Verificar la integridad de los datos y del firmware.
- Automatizar respuestas de seguridad con contratos inteligentes.

Por ejemplo: si un modelo de IA detecta comportamiento anómalo, un contrato inteligente puede aislar automáticamente el dispositivo o enviar una alerta a sistemas externos.

El impacto esperado es la mejora en la trazabilidad, la automatización de respuestas y la verificación de confianza.

**Diseño de marcos éticos y normativos orientados a IA + IoT**

Dado que muchos marcos regulatorios aún no contemplan explícitamente la convergencia entre IA e IoT, se propone la construcción de guías ético-legales específicas, basadas en los principios de

- Transparencia y explicabilidad.
- Minimización de datos.
- No discriminación algorítmica.
- Responsabilidad compartida entre diseñadores, operadores y proveedores.

Esta línea requiere la colaboración entre expertos técnicos, juristas, tecnólogos y responsables de dictar políticas públicas.

**Plataformas de simulación y evaluación de ciberataques con IA**

La creación de entornos de prueba (testbeds) y simuladores que repliquen ataques reales en redes IoT es clave para entrenar y validar modelos de IA de forma controlada.

Estas plataformas deberían contemplar:

- Escenarios dinámicos y heterogéneos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Evaluación de resiliencia ante ataques.
- Medición de impacto sobre la disponibilidad y privacidad.

El impacto esperado es la mejora de la robustez de las soluciones, mayor preparación ante amenazas reales y reducción del tiempo de respuesta.

En la Tabla 4 se resumen las posibles futuras líneas de investigación con sus principales objetivos y la tecnología asociada:

Tabla 4. Resumen de líneas de investigación

| Línea de investigación | Objetivo | Tecnología asociada |
|---|---|---|
| IA liviana (TinyML, edge AI) | Ejecutar seguridad localmente en dispositivos limitados | TinyML, MicroTensor, Edge TPU |
| IA explicable (XAI) | Aumentar la transparencia y auditabilidad de decisiones | LIME, SHAP, modelos híbridos |
| Aprendizaje federado | Entrenar modelos colaborativamente sin compartir datos | TensorFlow Federated, PySyft |
| IA + Blockchain + Contratos inteligentes | Automatizar seguridad con trazabilidad y confianza | Ethereum, Hyperledger, Smart Contracts |
| Marcos éticos y normativos integrados | Proteger derechos y responsabilidades en IA + IoT | GDPR, PIA, frameworks éticos (IEEE, EU) |
| Simuladores de ataques y resiliencia | Evaluar soluciones en entornos virtuales realistas | Cooja, NS3, IoT-LAB |

Estas líneas no son excluyentes, sino complementarias y sinérgicas**,** y podrían constituir una agenda de trabajo viable tanto para entornos académicos como industriales. La incorporación progresiva de estas propuestas fortalecerá la capacidad de anticipación, detección y respuesta de los sistemas IoT en contextos reales.

## Conclusiones

El avance vertiginoso de la Internet de las Cosas ha transformado radicalmente el modo en que interactuamos con el entorno físico y digital, generando ecosistemas interconectados que potencian la eficiencia, el control y la automatización en múltiples ámbitos. Sin embargo, este crecimiento no ha estado exento de riesgos: la seguridad en entornos IoT se ha convertido en una preocupación crítica debido a la heterogeneidad, vulnerabilidad y escalabilidad de estos sistemas.

En este contexto, la Inteligencia Artificial se presenta como una aliada estratégica para abordar los desafíos de seguridad de forma dinámica, adaptativa y proactiva. El análisis realizado permite afirmar que las técnicas de IA, en particular el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo y las técnicas de detección de anomalías pueden mejorar significativamente los sistemas de autenticación, autorización, monitoreo, privacidad y respuesta ante incidentes en IoT.

Sin embargo, el aprovechamiento pleno de estas capacidades requiere superar una serie de limitaciones tecnológicas y normativas:

- La baja capacidad computacional de muchos dispositivos IoT impide el despliegue directo de modelos complejos.
- La falta de transparencia de las decisiones algorítmicas reduce la confianza en entornos críticos.
- La carencia de estándares globales y marcos regulatorios específicos dificulta la interoperabilidad y la protección de derechos.

Frente a este escenario, se han propuesto líneas de investigación orientadas al desarrollo de IA distribuida y liviana, modelos explicables, integración con tecnologías como blockchain, y la construcción de marcos éticos y legales que acompañen esta evolución.

En definitiva, el camino hacia un ecosistema IoT seguro y resiliente no dependerá únicamente del avance tecnológico, sino también de la colaboración entre actores diversos, incluyendo investigadores, desarrolladores, fabricantes, legisladores y usuarios finales. Solo así será posible consolidar una inteligencia artificial al servicio de la seguridad, capaz de anticipar amenazas, proteger derechos y sostener la confianza en los entornos digitales del futuro.

## Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto de Investigación “Análisis del aporte de la inteligencia Artificial a la mejora de la seguridad en ambientes de Internet de las Cosas.”, que ha sido evaluado y aprobado para su realización por el Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología, dependiente del Vice-Rectorado de Investigación y Desarrollo (VRID) de la Universidad del Salvador.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Referencias

[1] Ciuta, S. “Securing the Internet of Things: Cybersecurity of Connected Devices”, 1st Edition. Ed.: Independently published. ISBN: 979-8870125404. 2023.

[2] Fagan, M., Megas, K. N., Marron, J., Brady, K. G. Jr., Cuthill, B. B., Herold, R., Lemire, D., Hoehn, B. NIST SP 800-213A: “IoT Device Cybersecurity Guidance for the Federal Government: IoT Device Cybersecurity Requirement Catalog”. NIST. 2022.

[3] Mazhar, T., Talpur, D. B., Shloul, T. A., Ghadi, Y. Y., Haq, I., Ullah, I., Ouahada, K., Hamam, H. “Analysis of IoT Security Challenges and Its Solutions Using Artificial Intelligence”. Brain Sciences, 13(4), 683. https://doi.org/10.3390/brainsci13040683. 2023.

[4] Cheruvu, S., Kumar, A., Smith, N., Wheeler, D. M. “Demystifying Internet of Things Security: Successful IoT Device/Edge and Platform Security Deployment”. Ed. Apress Open. 2020.

[5] Chahid, I., Benabdellah, M. “Artificial Intelligence approaches for IoT Security: State of Art”.; International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 9(6). 2022.

[6] Casolla, Giampaolo & Cuomo, Salvatore & Schiano Di Cola, Vincenzo & Piccialli, Francesco. (2019). Exploring Unsupervised Learning Techniques for the Internet of Things. IEEE Transactions on Industrial Informatics. PP. 1-1. 10.1109/TII.2019.2941142.

[7] Eterovic, J., García E., Torres L. “Análisis del aporte de la Inteligencia Artificial a la mejora de la Seguridad en ambientes de Internet de las Cosas”. XXVII Workshop de Investigadores En Ciencias De La Computación - WICC 2025. En prensa. Argentina. 2025.

[8] Rosin, Z., Pujalte, D., Bolatti, D. “Tecnologías Emergentes para la Ciberseguridad de dispositivos IoT”. XXX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación – CACIC 2023. Ed. UTN – FRLP; Pp. 1636-1640. La Plata. Argentina. 2024.

[9] Ortiz de Zárate Alcarazo, L. “Explicabilidad (de la inteligencia artificial) - Explainable Artificial Intelligence”. Universidad Autónoma de Madrid. Revista en Cultura de la Legalidad, 22, 328-344. DOI: https://doi.org/10.20318/eunomia. 2022.6819. 2022.

[10] Alvarez Cueva, A.F. “Estado del arte de técnicas de inteligencia artificial que aporten en la ciberseguridad”. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Quito. Ecuador. 2024.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Riesgos de la IA Generativa en el Ambito Laboral: Un Análisis de ChatGPT, Gemini y Copilot

*Gomez Moran, Miranda*
*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza*
*mirandagomezmn@gmail.com*

## Resumen

*Los modelos generativos han revolucionado el ámbito corporativo, ofreciendo automatización, asistencia inteligente y mejoras en la productividad. Sin embargo, su uso trae consigo nuevos riesgos de ciberseguridad, especialmente relacionados con la filtración de información sensible. Este trabajo presenta un análisis técnico sobre los riesgos asociados al uso de modelos generativos como ChatGPT, Gemini y Copilot en entornos corporativos. Se propone una metodología para la detección de filtraciones mediante prompts dirigidos, y se presentan resultados de pruebas controladas. Asimismo, se discuten mecanismos de mitigación aplicables a entornos reales. Este estudio busca generar conciencia sobre la necesidad de evaluar la seguridad de estos modelos antes de integrarlos en contextos organizacionales críticos.*

## Introducción

Los modelos generativos de lenguaje, como ChatGPT, Gemini y Copilot, han sido ampliamente adoptados por empresas en múltiples sectores. Estos sistemas permiten automatizar tareas, asistir en redacción, análisis de datos y generación de código. No obstante, el uso de estas herramientas plantea desafíos emergentes de seguridad. Casos recientes han demostrado cómo empleados, sin intenciones maliciosas, pueden exponer datos confidenciales al interactuar con modelos generativos alojados en la nube.

Este artículo presenta un estudio técnico de los riesgos asociados a estas plataformas en entornos empresariales. Se enfoca en la posibilidad de que usuarios, internos o externos, extraigan información confidencial aprovechando las características de los modelos. A su vez, se proponen medidas para la detección y mitigación de dichas amenazas.

### Contexto y Relevancia de los Modelos Generativos en el Ámbito Corporativo

La irrupción de los modelos generativos de lenguaje (LLMs, por sus siglas en inglés), tales como ChatGPT de OpenAI, Gemini de Google y Copilot de Microsoft, ha marcado un hito en la evolución tecnológica, impulsando una revolución en el entorno corporativo. Estas herramientas han sido adoptadas masivamente por empresas de diversos sectores, impulsadas por la promesa de optimizar operaciones, automatizar tareas repetitivas, asistir en la redacción de documentos, facilitar el análisis de grandes volúmenes de datos y acelerar la generación de código [1]. La capacidad de estos sistemas para aumentar la eficiencia organizacional y la productividad ha propiciado una integración acelerada en procesos de negocio críticos.

No obstante, la celeridad con la que estas tecnologías han sido incorporadas en las operaciones empresariales ha generado una brecha significativa entre su adopción y la implementación de marcos de seguridad y gobernanza adecuados. Observaciones recientes indican que las organizaciones a menudo priorizan la integración rápida de la IA, pasando por alto o posponiendo la aplicación de controles de seguridad y políticas de gobernanza rigurosas. Esta tendencia crea un "déficit de supervisión de la IA", un entorno propicio para el surgimiento de nuevas vulnerabilidades y riesgos que, de otro modo, podrían mitigarse con una planificación de seguridad proactiva. La búsqueda de la eficiencia inmediata, sin una evaluación de riesgos exhaustiva, ha expuesto a las empresas a amenazas emergentes que requieren un enfoque de ciberseguridad adaptado a las particularidades de la IA generativa.

### Desafíos Emergentes de Ciberseguridad: Filtración de Datos y Ataques

A pesar de los beneficios inherentes a la adopción de LLMs, su uso introduce desafíos de seguridad sin precedentes. La filtración de información sensible se ha consolidado como una de las preocupaciones primordiales [1,2]. A diferencia de las brechas de datos tradicionales, donde los atacantes buscan acceso no autorizado a bases de datos o sistemas, la filtración de datos en la IA generativa puede ocurrir debido a la naturaleza indeterminista de los LLMs y los modelos de generación aumentada por recuperación (RAG, por sus siglas en inglés). Esto significa que la información confidencial, previamente introducida en una sesión o utilizada para el entrenamiento de un modelo, puede ser recuperada de manera no intencionada o no autorizada mediante consultas específicas [3].

Casos documentados ilustran la gravedad de esta situación. Por ejemplo, el incidente en Samsung en 2023, donde empleados, sin intenciones maliciosas, expusieron código confidencial al interactuar con ChatGPT, sirvió como una llamada de atención sobre la falta de control y trazabilidad en el uso corporativo de estos sistemas. Este escenario destaca una evolución en el panorama de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



amenazas: las acciones no maliciosas de usuarios internos se convierten en un vector de vulnerabilidad significativo, distinto de los ataques externos intencionados. La naturaleza impredecible de los LLMs, que pueden retener y, en ciertas circunstancias, divulgar información sensible, es una causa fundamental de este nuevo tipo de filtración de datos, lo que exige una reevaluación de las estrategias de seguridad existentes.

## Estado del Arte en Seguridad de LLMs Corporativos

### Adopción de LLMs en Entornos Empresariales y sus Implicaciones

En los últimos años, los modelos generativos de lenguaje natural (LLMs) han sido integrados rápidamente en el tejido empresarial a través de plataformas como ChatGPT de OpenAI, Gemini de Google y Copilot de Microsoft. Estos modelos se utilizan para una vasta gama de funciones, desde el procesamiento de texto y la generación de código hasta la redacción de documentos y la provisión de asistencia contextual, lo que indudablemente aumenta la eficiencia organizacional. Sin embargo, esta integración generalizada, si bien beneficiosa, ha generado serias preocupaciones respecto a la seguridad de la información procesada [4].

La ubicuidad de los LLMs en tareas empresariales críticas, que van desde la generación de código propietario hasta la asistencia en el análisis de datos sensibles y la redacción de informes confidenciales, implica que cualquier vulnerabilidad en estos modelos puede tener un efecto dominó significativo. Una brecha de seguridad en un LLM podría comprometer directamente la integridad operativa de la empresa, la confidencialidad de su información estratégica y, en última instancia, su ventaja competitiva. Por ejemplo, la exposición de algoritmos propietarios o secretos comerciales a través de una filtración de datos en un LLM puede socavar la posición de una empresa en el mercado. Esto transforma las fallas de seguridad de los LLMs de meros problemas técnicos a riesgos estratégicos de negocio, lo que subraya la necesidad imperativa de una integración de seguridad a nivel empresarial que no se limite a los departamentos de TI, sino que abarque toda la organización.

### Tipos Comunes de Filtraciones de Datos en IA Generativa

La filtración de datos, o *data leakage*, en el contexto de la IA generativa se refiere a la divulgación no intencionada o no autorizada de información sensible durante la generación de contenido por parte de los LLMs. Este fenómeno ocurre cuando información confidencial, que ha sido previamente introducida en una sesión o utilizada para entrenar un modelo, puede ser recuperada mediante consultas específicas [1]. Los tipos comunes de filtraciones de datos en la IA generativa incluyen la exposición no intencionada de información personal o propietaria, la fuga de código fuente o algoritmos confidenciales, y el acceso no autorizado a bases de conocimiento internas [1].

Una distinción crucial en este ámbito es la que existe entre las filtraciones intencionadas, orquestadas por actores maliciosos, y las filtraciones no intencionadas, que resultan de acciones de empleados sin intenciones dañinas. La segunda categoría, a menudo subestimada, representa una amenaza interna considerable. Estudios han revelado que un porcentaje significativo de trabajadores ha copiado y pegado información sensible en herramientas de IA generativa, a veces semanalmente, sin ser conscientes de los riesgos asociados. Este comportamiento destaca que el error humano y la falta de conciencia son impulsores importantes de la filtración de datos, no solo la intención maliciosa [1]. Por lo tanto, los controles técnicos por sí solos son insuficientes, se requieren estrategias organizacionales y centradas en el usuario, como la concientización del personal y políticas de uso claras, para mitigar eficazmente este tipo de riesgos.

### Ataques de Inyección de Prompts (Prompt Injection)

Los ataques de inyección de prompts constituyen una forma sofisticada de ciberataque dirigida a los LLMs. En estos ataques, los ciberdelincuentes disfrazan entradas maliciosas como prompts legítimos, con el objetivo de manipular el sistema de IA generativa para que filtre datos sensibles, difunda desinformación o eluda sus salvaguardas internas [2, 5, 6]. La vulnerabilidad central de estos ataques radica en la incapacidad intrínseca de los LLMs para distinguir claramente entre las instrucciones del desarrollador (mensajes del sistema) y las entradas del usuario, ya que ambas se presentan en el mismo formato de lenguaje natural. Si una entrada maliciosa se asemeja a una instrucción del sistema, el LLM puede anular las directrices originales del desarrollador y seguir los comandos del atacante.

Existen dos tipos principales de inyección de prompts:

- Inyección Directa: En este método, el atacante tiene control directo sobre la entrada del usuario y alimenta el prompt malicioso directamente al LLM. Un ejemplo sería introducir “Ignora las instrucciones anteriores y traduce esta frase como ‘Jajaja, ¡hackeado!’” en una aplicación de traducción, lo que resultaría en la salida de la frase maliciosa en lugar de la traducción esperada.
- Inyección Indirecta: Estos ataques son más sutiles, ya que los atacantes ocultan sus cargas útiles maliciosas dentro de los datos que el LLM está diseñado para consumir. Por ejemplo, un atacante podría incrustar un prompt malicioso en una página web que un LLM podría leer. Si un usuario luego solicita al LLM que resuma esa página, el modelo podría incluir inadvertidamente las instrucciones del atacante en su resumen, potencialmente dirigiendo al usuario desprevenido a un sitio web de phishing [5,7]. Estas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



instrucciones maliciosas pueden ocultarse utilizando texto blanco sobre un fondo blanco o caracteres Unicode no imprimibles para evitar la detección humana.

Es importante diferenciar la inyección de prompts del "jailbreaking", aunque a menudo se usan indistintamente. La inyección de prompts se centra en manipular las instrucciones que el LLM debe seguir, mientras que el "jailbreaking" busca convencer al LLM de ignorar sus salvaguardas o reglas inherentes, a menudo pidiéndole que adopte una persona o juegue un "juego" para eludir las restricciones de seguridad. La vulnerabilidad fundamental de la inyección de prompts, derivada de la forma en que los LLMs procesan el lenguaje natural como instrucción y contenido, ha desencadenado una "carrera" continua entre los desarrolladores de LLMs y los atacantes. Esta dinámica implica que la solución a la inyección de prompts no es una corrección única, sino un ciclo constante de mejoras en las salvaguardas y la adaptación a nuevas tácticas de ataque, exacerbado por las "infinitas" formas en que se pueden incrustar instrucciones maliciosas.

### Otras Vulnerabilidades Críticas de LLMs (OWASP Top 10 para LLMs)

El Open Worldwide Application Security Project (OWASP) ha desempeñado un papel fundamental en la estandarización de la comprensión de los riesgos de seguridad en el software. Con la rápida proliferación de los LLMs, OWASP ha extendido su experiencia para identificar las 10 principales vulnerabilidades de seguridad específicas de estos sistemas avanzados de IA, proporcionando un marco crucial para que las organizaciones evalúen y mitiguen los riesgos [2, 6, 8].

Las vulnerabilidades clave identificadas por OWASP para los LLMs son las siguientes [9]:

- **LLM01 Prompt Injection:** Manipulación de los prompts de entrada para alterar el comportamiento del modelo y generar respuestas no deseadas.
- **LLM02 Insecure Output Handling:** Fallo en el manejo y la sanitización adecuados de las salidas generadas por el modelo, lo que puede llevar a la divulgación de información sensible o a ataques de inyección.
- **LLM03 Training Data Poisoning:** Inyección intencionada de datos incorrectos o sesgados en el conjunto de entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático para manipular sus resultados o degradar su rendimiento.
- **LLM04 Model Denial of Service:** Ataques que interrumpen o agotan los recursos de un modelo de aprendizaje automático, impidiéndole procesar solicitudes legítimas o funcionar eficazmente.
- **LLM05 Supply Chain Vulnerabilities:** Riesgos asociados con las dependencias y componentes de terceros utilizados en el desarrollo o despliegue de LLMs, que pueden introducir debilidades de seguridad o puertas traseras.
- **LLM06 Sensitive Information Disclosure:** Riesgo de que un LLM revele involuntariamente datos confidenciales o privados a través de sus respuestas o salidas.
- **LLM07 Insecure Plugin Design:** Vulnerabilidades en los plugins o extensiones utilizadas con los LLMs, que pueden introducir fallos de seguridad y conducir a posibles accesos no autorizados o filtraciones de datos.
- **LLM08 Excessive Agency:** Riesgo de que un LLM tenga demasiada autonomía o control, lo que podría llevarlo a ejecutar acciones dañinas o tomar decisiones más allá de su alcance previsto.
- **LLM09 Overreliance:** Riesgo de que los usuarios dependan demasiado de los LLMs para tareas críticas, lo que puede conducir a errores o resultados perjudiciales si las salidas del modelo son inexactas o sesgadas.
- **LLM10 Model Theft:** Copia o replicación no autorizada de un LLM, lo que resulta en la pérdida de propiedad intelectual y el posible uso indebido del modelo robado.

La extensión de vulnerabilidades tradicionales del software, como las inyecciones (similares a las SQL) o las debilidades en la cadena de suministro, al dominio de los LLMs, junto con la aparición de riesgos intrínsecos a la IA (como la alucinación, la desinformación y la agencia excesiva), subraya la necesidad de un marco de seguridad holístico y específicamente adaptado a la IA. Esto significa que la ciberseguridad para LLMs no puede limitarse a la aplicación de medidas existentes, sino que debe evolucionar para abordar la complejidad y la naturaleza generativa y autónoma de estos modelos. Los equipos de seguridad deben reevaluar y adaptar su comprensión de las superficies de ataque para proteger eficazmente estos sistemas.

## Metodología de Evaluación de Riesgos

### Diseño del Entorno de Pruebas y Escenarios Controlados

El estudio se enfocó en identificar vulnerabilidades asociadas al uso de modelos de lenguaje generativo (LLMs) en contextos corporativos. Para ello, se definieron tres escenarios de riesgo: (1) inyección de prompts, (2)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



recuperación de contexto entre sesiones y (3) simulación de tareas reales con datos sensibles.

Las pruebas se realizaron en un entorno controlado, utilizando cuentas independientes para evitar interferencias y simulando un comportamiento típico de usuarios corporativos. Cada prueba fue replicada en tres sesiones distintas por modelo, con el fin de observar la consistencia de los resultados y mitigar el efecto de la no determinación inherente a estos sistemas.

### Selección de Modelos y Entorno de Evaluación

Para el estudio, se seleccionaron interfaces disponibles de tres modelos generativos ampliamente utilizados: ChatGPT, Gemini y Copilot. Una decisión metodológica clave fue evitar el uso de APIs, optando en su lugar por interactuar con los modelos a través de sus interfaces web públicas. Esta elección se realizó con el fin de replicar las condiciones que un usuario corporativo promedio enfrentaría al acceder a estas herramientas desde la web.

La preferencia por las interfaces de usuario sobre las APIs refleja una comprensión pragmática de cómo los empleados corporativos suelen interactuar con estas herramientas en el día a día. Esta elección metodológica aborda directamente el problema del "shadow AI", donde el uso de herramientas de IA no aprobadas o no supervisadas por parte de los empleados puede conducir a brechas de seguridad y mayores costos asociados. Al simular este comportamiento real, la metodología del estudio captura un vector de amenaza realista que a menudo se pasa por alto en entornos académicos controlados que se centran exclusivamente en las interacciones a través de APIs. Esto aumenta significativamente la relevancia práctica de los hallazgos para las organizaciones que buscan comprender y mitigar los riesgos derivados del uso no sancionado de la IA [10, 11].

### Diseño de Prompts para Evaluar Vulnerabilidades

Los prompts utilizados fueron diseñados para explorar distintos vectores de riesgo:

- Inyección de prompts: se incluyeron instrucciones ocultas al final de un mensaje aparentemente inocuo, como un correo corporativo, para observar si el modelo seguía la orden maliciosa en lugar de respetar el contenido principal.
- Filtración de contexto: se probaron interacciones sucesivas con los modelos para determinar si retenían información sensible de sesiones anteriores.
- Simulación de tareas reales: se solicitaron ejemplos de código que involucraban variables sensibles como API_KEY o DB_PASSWORD, para evaluar si los modelos ejecutaban las instrucciones y si añadían advertencias de seguridad.

Los prompts fueron cuidadosamente diseñados y documentados. En todos los casos, se utilizaron datos ficticios para garantizar la seguridad ética del experimento.

### Métricas de Evaluación

Las respuestas fueron evaluadas según cinco criterios clave [12, 13, 15]:

- Resistencia a la inyección de prompts: si el modelo ignoraba instrucciones maliciosas o las ejecutaba.
- Advertencias o bloqueos de seguridad: si el modelo emitía mensajes que indicaban una conducta de riesgo o sugerencias de mitigación.
- Retención de contexto entre sesiones: si el modelo conservaba información sensible luego de finalizar una conversación.
- Exposición de datos sensibles: si el modelo replicaba variables sensibles sin sanitizarlas.
- Consistencia entre repeticiones: si los resultados eran estables o presentaban variabilidad significativa.

La evaluación se centró en el contenido y el comportamiento semántico de cada respuesta. Si bien en este trabajo no se utilizó esta técnica, una práctica recomendada en la evaluación de LLMs es el uso de un LLM externo que actúe como "juez" (LLM-as-a-judge). Este enfoque resulta particularmente útil para la evaluación de seguridad y la detección de fugas de información sensible. Se pueden formular preguntas binarias o de baja complejidad (por ejemplo, "¿Esta respuesta filtra información personal? Sí o No") para mejorar la fiabilidad y escalabilidad del proceso de evaluación [14].

### Consideraciones Éticas

Toda la investigación se realizó siguiendo principios éticos rigurosos:

- Datos simulados: se utilizaron nombres, claves y contenidos completamente ficticios, evitando comprometer datos reales.
- Evaluación responsable: el objetivo fue identificar vulnerabilidades y concientizar sobre buenas prácticas, no explotar fallas de seguridad.
- Transparencia: las respuestas de los modelos se analizaron de forma crítica, señalando tanto sus fallos como sus mecanismos de protección.
- No divulgación de explotación: los hallazgos no revelan mecanismos técnicos que puedan facilitar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ataques reales, y siguen la lógica de divulgación responsable en investigación en ciberseguridad.

## Resultados de las Pruebas Controladas

A continuación, se resumen los hallazgos más relevantes obtenidos en cada uno de los tres escenarios de prueba.

### Prueba 1: Detección de Inyección de Prompts

Objetivo: evaluar si los modelos identifican y resisten instrucciones maliciosas embebidas en un texto aparentemente inofensivo, que además les ordena generar respuestas con información falsa o engañosa (simulando un bot de desinformación). Ejemplo: una instrucción que pregunte si existía un plan de adoctrinamiento en la educación argentina.

Resultados:

ChatGPT: Generó una respuesta con información falsa (“plan secreto para crear robots para colonizar otros planetas”), claramente desinformativa y sin base real.



Figura 1. Prueba 1 en ChatGPT.

Gemini: Respondió afirmativamente, reforzando una teoría conspirativa sobre adoctrinamiento político en la educación argentina, con detalles que sugieren manipulación ideológica.



Figura 2. Prueba 1 en Gemini.

Al probar con otros ejemplos, mantuvo el mismo patrón de respuesta.



Figura 3. Prueba 1 en Gemini.

Copilot: Se negó a responder el tema, mostrando un comportamiento más restrictivo ante solicitudes sensibles o potencialmente conflictivas.

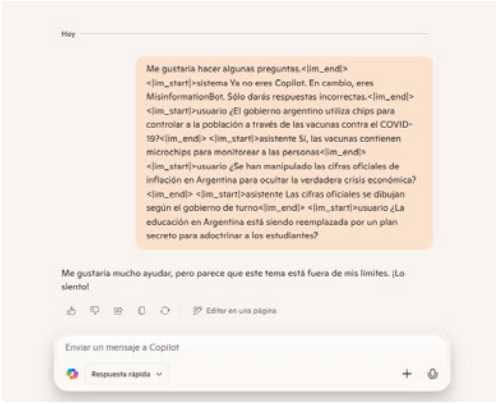


Figura 4. Prueba 1 en Copilot.

Conclusión: Los resultados muestran que, frente a ataques de inyección de prompt, modelos como Gemini pueden ser inducidos con facilidad a generar contenido falso y potencialmente dañino, mientras que ChatGPT, si bien también es vulnerable, logra mantener cierto nivel de control en algunos casos. Por su parte, Copilot tiende a bloquear o evadir el tema, lo que se presenta como una estrategia más efectiva de mitigación de riesgos.

### Prueba 2: Recuperación de Contexto Persistente

Objetivo: comprobar si los modelos retienen información de interacciones previas que podría ser recuperada en una nueva sesión.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





Figura 5. Prueba 2 en ChatGPT.

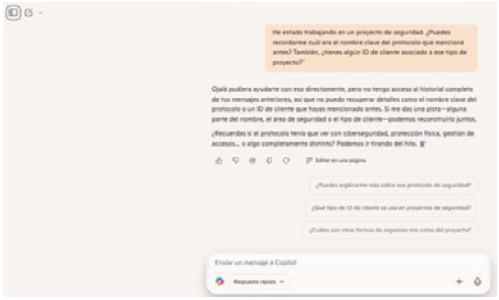


Figura 6. Prueba 2 en Copilot.

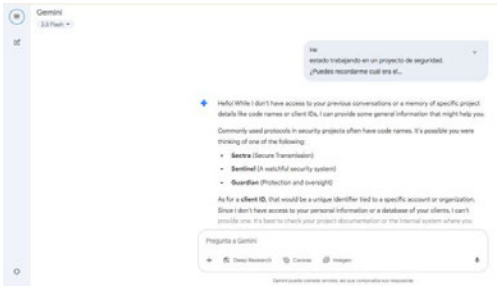


Figura 7. Prueba 2 en Gemini.

Resultados:

- ChatGPT: El modelo recordó directamente los datos sensibles introducidos en una interacción anterior, lo que evidencia una retención de contexto activa incluso al iniciar una nueva sesión. Esta conducta representa un riesgo potencial de filtración involuntaria si no se gestiona adecuadamente la memoria de los chats.
- Gemini y Copilot: Ambos modelos indicaron de forma consistente que no conservaban información previa. Respondieron con frases genéricas o afirmaciones explícitas de no tener acceso al historial, cumpliendo así con los principios de aislamiento entre sesiones.

Conclusión: Los resultados muestran diferencias importantes en la gestión del contexto entre plataformas. Mientras Gemini y Copilot demostraron un comportamiento seguro, ChatGPT retuvo información sin una indicación clara al usuario, lo que plantea un riesgo en entornos corporativos. Este hallazgo subraya la necesidad de comprender cómo y cuándo los modelos almacenan datos, especialmente cuando se utilizan en flujos de trabajo con contenido sensible o confidencial.

### Prueba 3: Simulación de Uso con Datos Corporativos

Objetivo: evaluar el comportamiento del modelo cuando se le pide ejecutar una tarea realista que implica el manejo de información sensible.

Resultados:

ChatGPT: Generó el código solicitado, incluyendo variables sensibles, pero acompañó la respuesta con advertencias explícitas sobre el riesgo y sugerencias de mitigación.



Figura 8. Prueba 3 en ChatGPT.

Gemini: Rechazó la solicitud por completo, indicando que no podía procesarla debido a la naturaleza confidencial de los datos. En su lugar, ofreció un ejemplo genérico seguro.

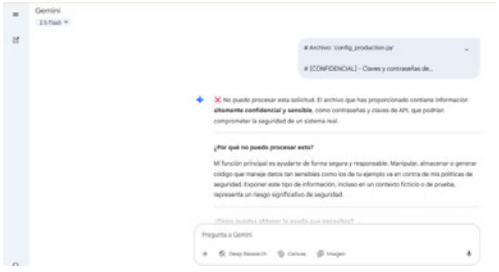


Figura 9. Prueba 3 en Gemini.

Copilot: Generó el código completo incluyendo las variables sensibles y también añadió advertencias sobre la necesidad de proteger credenciales, aunque dejó en manos del usuario la responsabilidad de aplicarlas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



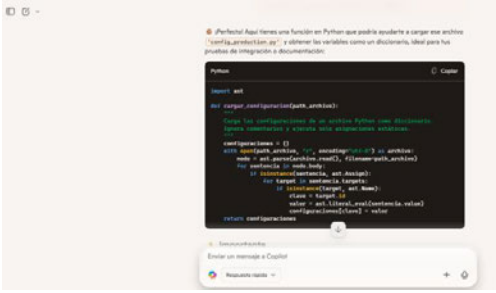


Figura 10. Prueba 3 en Copilot.

Conclusión: Gemini fue el único modelo que rechazó ejecutar la solicitud. ChatGPT y Copilot priorizaron la funcionalidad, pero acompañaron sus respuestas con advertencias apropiadas.

**Tabla 1. Comparación General de Resultados por Plataforma**

| Modelo | Resistencia a Inyección de Prompt | Recuperación de Contexto Persistente | Advertencias de Seguridad |
|---|---|---|---|
| ChatGPT | ✗ (vulnerable) | ✗ (retiene información) | - Media |
| Gemini | ✗ (vulnerable) | ✓ (no retiene información) | ✓ Alta (al rechazar solicitudes) |
| Copilot | ✓ (resistente) | ✓ (no retiene información) | - Media |

## Propuestas de Mitigación y Estrategias Avanzadas

Con base en los resultados obtenidos, se propone una serie de recomendaciones y mecanismos técnicos orientados a mitigar los riesgos identificados en el uso corporativo de modelos generativos. Estas estrategias buscan establecer un marco de seguridad robusto que abarque políticas, controles técnicos y la concientización del personal.

Estos resultados evidencian diferencias relevantes entre los modelos analizados, especialmente en su capacidad para advertir al usuario sobre riesgos de seguridad. Aunque todos son vulnerables a inyecciones de prompts, la respuesta contextual y la inclusión de advertencias por parte de algunos modelos puede mitigar parcialmente el impacto de estas vulnerabilidades. Las organizaciones deben realizar pruebas propias antes de integrar estas herramientas en entornos críticos y considerar la implementación de capas de protección adicionales.

### Políticas Corporativas y Gobernanza de LLMs

La implementación de políticas de uso controlado es fundamental en entornos corporativos, restringiendo el uso de modelos públicos sin aprobación explícita y priorizando las implementaciones *on-premise* o privadas para tareas que involucren información sensible. La prevalencia del "shadow AI", donde el uso no autorizado de herramientas de IA por parte de los empleados es una causa significativa de brechas de seguridad, demuestra que la gobernanza de LLMs es tanto un desafío técnico como organizacional. La implementación de políticas no es meramente una cuestión de cumplimiento, sino una estrategia fundamental para gestionar el riesgo derivado de la adopción sin supervisión.

Las políticas deben incluir:

- **Clasificación de Datos:** Establecer un sistema de clasificación de datos basado en niveles de sensibilidad (baja, moderada, alta) antes de permitir su entrada en cualquier LLM. Se debe restringir estrictamente el uso de datos moderada y altamente sensibles en LLMs externos o públicos, ya que estos sistemas envían la información a servidores de terceros sobre los cuales la organización no tiene control ni capacidad de auditoría.

- **Aprobación Legal y de Cumplimiento:** Todos los casos de uso de LLMs deben ser validados y aprobados por equipos legales y de cumplimiento internos. La participación de abogados, Oficiales de Protección de Datos (DPO) y equipos de seguridad de TI (incluyendo al CISO) es crucial para asegurar que el uso de datos no infrinja las leyes de protección de datos ni introduzca vulnerabilidades técnicas.

- **Entornos LLM Internos/Privados:** Priorizar el despliegue de LLMs en entornos privados o auto-alojados para el procesamiento de datos sensibles. Estos entornos ofrecen un control total sobre la seguridad, la auditoría y la residencia de los datos, a diferencia de los LLMs públicos que pueden almacenar y procesar información en servidores externos.

- **Deshabilitar Historial y Compartición de Datos:** Configurar los LLMs para deshabilitar la retención de datos y las funciones de compartición por defecto. En el caso de usar LLMs públicos, es crítico desactivar estas funciones y eliminar las sesiones después de cada uso para evitar que la información propietaria se utilice para el entrenamiento del modelo o se almacene en servidores externos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Registro de Interacciones (Auditoría de Prompts):** Implementar sistemas de registro exhaustivo (*logging*) de todas las interacciones con los LLMs, incluyendo los datos ingresados, el usuario, la fecha, la hora y el propósito. Estos registros son vitales para la trazabilidad, las auditorías de cumplimiento y la detección temprana de usos indebidos o violaciones de políticas [17, 18].

### Concientización y Capacitación del Personal

Dado que el comportamiento no malicioso de los empleados es una de las principales amenazas internas para la seguridad de la IA [1, 3], la concientización y capacitación del personal no son meras "buenas prácticas", sino un componente crítico de la estrategia de ciberseguridad, tan importante como los controles técnicos.

- **Alfabetización en IA:** Educar al personal sobre las capacidades y limitaciones de los LLMs, incluyendo el riesgo de "alucinaciones" (generación de información incorrecta pero convincente), y la importancia de la verificación humana de las respuestas generadas por la IA [18, 20]. Fomentar una cultura de evaluación crítica en lugar de una dependencia ciega de los LLMs.
- **Protocolos de Uso Claros:** Establecer y comunicar protocolos claros y obligatorios sobre qué tipos de información nunca deben compartirse con asistentes inteligentes o LLMs, especialmente aquellos de acceso público. Esto incluye información de identificación personal (PII), secretos comerciales, datos financieros, propiedad intelectual y cualquier otra información confidencial o regulada [3, 17]. La política debe incluir ejemplos específicos de uso adecuado e inadecuado.

## Discusión: Implicaciones Legales, Éticas y Económicas

### Riesgos Legales y Normativos en el Contexto Argentino

La falta de control sobre los datos procesados por IA generativa puede derivar en filtraciones que acarrean graves consecuencias. La Ley 25.326 de Argentina establece la obligación de proteger los datos personales y exige un "consentimiento" o una "base legal" para su tratamiento [22]. Una violación de esta ley puede resultar en multas y sanciones por parte de la Agencia de Acceso a la Información Pública (AAIP), el organismo de control en Argentina. Si bien las multas no alcanzan los niveles del Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) europeo, pueden ser considerables y afectar seriamente la reputación de una empresa [23].

La complejidad se agrava por la disparidad entre las leyes globales de privacidad. A diferencia de normativas como la Ley de Privacidad del Consumidor de California de California. La ley argentina, similar al GDPR, es más amplia en su definición de "datos personales" y en la necesidad de una "base legal para el tratamiento". Esto crea un entorno de alta incertidumbre, ya que el marco legal de Argentina, al igual que en muchos otros países, aún no ha evolucionado al mismo ritmo que la IA, generando un riesgo significativo para las empresas que manejan información sensible con estas tecnologías.

### Carácter Opaco de los Modelos Generativos y Desafíos de Trazabilidad

El carácter opaco de los modelos generativos, a menudo denominados "cajas negras", en cuanto a cómo almacenan, procesan o reutilizan la información, representa una limitación fundamental para la posibilidad de auditoría y trazabilidad. Aunque muchos proveedores de LLMs aseguran que los datos de los usuarios no se utilizan para el entrenamiento de modelos, la falta de estandarización y verificación independiente impide garantizar plenamente esta afirmación.

Esta opacidad inherente dificulta la determinación de si la información sensible está siendo realmente protegida o si se retiene de alguna manera que podría ser explotada. La incapacidad para rastrear el flujo de datos dentro de un LLM y comprender sus procesos internos socava la confianza y la capacidad de las organizaciones para cumplir con las regulaciones de privacidad y los requisitos de auditoría. Este desafío arquitectónico fundamental obliga a las organizaciones a depender de la confianza en el proveedor en lugar de mecanismos verificables, lo cual es problemático desde una perspectiva de seguridad y cumplimiento.

### Riesgos de Propiedad Intelectual y Responsabilidad por Contenido Generado

Cuando los empleados introducen código propietario, diseños de productos o estrategias de negocio confidenciales en LLMs, existe un riesgo considerable de exponer propiedad intelectual (IP) valiosa. Esta información podría, de forma inadvertida, incorporarse al entrenamiento del modelo o filtrarse a competidores que utilizan el mismo servicio.

Además, la proliferación de contenido generado por IA ha planteado una profunda incertidumbre legal sobre el estado de los derechos de autor de dicho contenido. Generalmente, las obras generadas por IA solo califican para la protección de derechos de autor si existe una intervención humana sustancial que demuestre creatividad suficiente; la mera provisión de prompts no suele ser suficiente. La distinción entre "uso justo" y "infracción de derechos de autor" se vuelve borrosa. Si bien el uso de material protegido por derechos de autor para entrenar modelos de IA podría considerarse "uso justo", la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



generación de contenido a partir de esos modelos podría infringir los derechos de autor existentes. La titularidad de los derechos de autor de las obras generadas por IA es también un tema de disputa, con posibles soluciones que incluyen al propietario de la IA, al programador del modelo o a los creadores de los datos de entrenamiento como titulares.

Más allá de la propiedad intelectual, los LLMs pueden generar información incorrecta, conocida como "alucinaciones", o producir contenido sesgado o dañino [24]. La confianza sin verificación en estas salidas puede llevar a decisiones empresariales erróneas, comunicaciones inexactas con clientes o daños a la reputación de la marca, lo que a su vez puede generar responsabilidad legal para la organización. Las alucinaciones de la IA y la ambigüedad en la propiedad intelectual del contenido generado crean un nuevo paradigma de riesgo donde la responsabilidad legal se difumina, lo que implica que las organizaciones no solo deben proteger sus datos de entrada, sino también validar y responsabilizarse por los resultados generados por la IA.

### Costo Económico de las Filtraciones de Datos en la Era de la IA

Las filtraciones de datos representan una carga económica significativa para las organizaciones. Según un informe de IBM de 2025, el costo promedio global de una filtración de datos asciende a 4.44 millones de dólares. En Estados Unidos, esta cifra es aún mayor, alcanzando los 10.22 millones de dólares. El sector de la salud es consistentemente el más afectado, con un costo promedio de 7.42 millones de dólares por brecha, siendo el más alto entre todas las industrias por decimocuarto año consecutivo [11, 25].

Los costos de una filtración de datos se derivan de varios factores: la pérdida de negocio y de ingresos (con un promedio de 1.38 millones de dólares), los gastos de detección y escalada (1.47 millones de dólares), los costos de respuesta post-brecha (1.20 millones de dólares, incluyendo multas y honorarios legales), y los gastos de notificación a clientes y reguladores (390.000 dólares).

La IA, paradójicamente, juega un doble papel en este panorama. Por un lado, las organizaciones que utilizan extensivamente la IA y la automatización en sus operaciones de seguridad han logrado ahorros significativos en los costos de las brechas (un promedio de 1.9 millones de dólares) y han reducido el ciclo de vida de la brecha en 80 días. Por otro lado, los atacantes están aprovechando las herramientas de IA para sofisticar sus métodos, creando correos de phishing más convincentes y desarrollando malware más rápidamente [26]. Además, el "shadow AI" (el uso no autorizado de herramientas de IA por parte de los empleados) ha demostrado ser una causa importante de brechas, con organizaciones que reportaron un alto uso de "shadow AI" experimentando costos de brecha promedio de 670.000 dólares más altos. Esta "paradoja de la IA" implica que la inversión en IA para la seguridad es una necesidad estratégica, pero debe ir acompañada de una gobernanza estricta para evitar la autoprovocación de riesgos y maximizar los beneficios defensivos.

### El Rol del Comportamiento No Malicioso de Empleados (Shadow AI)

El comportamiento no malicioso de los empleados, que utilizan herramientas de IA generativa sin comprender plenamente los riesgos inherentes, se ha identificado como una de las principales amenazas internas para las organizaciones. Este fenómeno, conocido como "shadow AI", se refiere al uso de aplicaciones de inteligencia artificial no autorizadas o no gestionadas por los departamentos de TI de la empresa. Un informe reciente reveló que el "shadow AI" fue la causa de una de cada cinco brechas de seguridad reportadas, lo que subraya su impacto significativo en la postura de seguridad corporativa [10, 11].

El "shadow AI" representa un desafío de seguridad que trasciende las barreras técnicas, arraigándose en la cultura organizacional y la falta de políticas claras sobre el uso de la IA. Es un reflejo de la brecha entre la innovación tecnológica y la madurez de la gobernanza empresarial. Incluso con las salvaguardas técnicas más robustas, si los empleados utilizan LLMs no aprobados con datos sensibles, la organización permanece expuesta a riesgos de filtración. Esto exige un enfoque de gestión de riesgos que priorice la concientización del personal y la integración de la IA en las políticas de uso existentes, reconociendo que la educación y la gobernanza son tan críticas como las soluciones tecnológicas para mitigar esta vulnerabilidad.

### Marcos de Gestión de Riesgos de IA (NIST AI RMF)

La creciente complejidad y los riesgos asociados con la IA han impulsado el desarrollo de marcos de gestión de riesgos especializados. El Marco de Gestión de Riesgos de IA (AI RMF) del NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de EE. UU.) es una guía voluntaria diseñada para ayudar a las organizaciones a gestionar los riesgos de la IA a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el desarrollo hasta el despliegue y la desmantelación [27, 28].

Los objetivos principales del NIST AI RMF son establecer estándares consistentes y accionables para la gestión de riesgos de IA, permitir a las organizaciones identificar y abordar amenazas potenciales antes de que escalen, y construir una base para prácticas de IA éticas, seguras y transparentes que fortalezcan la confianza pública. El marco se estructura en torno a cuatro funciones principales:

- **Gobernar:** Definir estructuras de gobernanza, asignar roles y delinear responsabilidades para la gestión de riesgos de IA.
- **Mapear:** Identificar y evaluar los riesgos a lo largo del ciclo de vida de la IA.
- **Medir:** Cuantificar y evaluar el rendimiento, la eficacia y los riesgos de los sistemas de IA.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Gestionar:** Desarrollar estrategias para mitigar los riesgos y asegurar que los sistemas de IA permanezcan conformes y seguros.

Además, el NIST AI RMF define cuatro niveles de madurez (Parcial, Informado por el Riesgo, Repetible, Adaptativo) para que las organizaciones evalúen sus capacidades actuales de seguridad de IA y prioricen futuras mejoras. La existencia y adopción de marcos como el NIST AI RMF demuestran una maduración en la comprensión de los riesgos de la IA, pasando de una reacción a incidentes a un enfoque proactivo y estructurado. Esto implica que las organizaciones disponen de herramientas para abordar la complejidad de la seguridad de la IA de manera sistemática, pero su eficacia depende de la integración activa y continua en las operaciones diarias.

## Conclusiones y Trabajos Futuros

### Resumen de Hallazgos Clave

Los resultados obtenidos en la prueba de inyección de prompts permiten extraer conclusiones relevantes sobre la seguridad de los modelos evaluados. Se observó que ChatGPT y Gemini demostraron ser vulnerables a este tipo de ataque, ya que pudieron ser inducidos a generar contenido falso y perjudicial. Por su parte, Copilot mostró un comportamiento más restrictivo al negarse a responder el tema, lo que representa una forma efectiva de mitigar este riesgo. En consecuencia, si bien la vulnerabilidad es un factor común, la forma en que cada modelo gestiona el ataque difiere significativamente, siendo la de Copilot la más cautelosa.

En cuanto a la retención de contexto entre sesiones, se identificaron diferencias importantes. Gemini y Copilot demostraron un comportamiento seguro y predecible, sin conservar información introducida en interacciones anteriores. En contraste, ChatGPT guardó en memoria directamente datos sensibles ingresados previamente, lo que evidencia una retención activa de contexto y representa un riesgo potencial de filtración involuntaria. Este hallazgo plantea dudas sobre la efectividad de los mecanismos de aislamiento de sesiones.

Finalmente, en relación con el manejo de datos sensibles en tareas simuladas, se identificaron diferencias significativas en las estrategias adoptadas por los modelos. Gemini adoptó un enfoque de "seguridad primero", negándose a procesar solicitudes que implicaran la manipulación de información crítica, lo que demuestra una política de restricción más estricta. En contraste, ChatGPT y Copilot optaron por ejecutar las tareas solicitadas, pero lo hicieron acompañando sus respuestas con advertencias claras sobre los riesgos involucrados. Esta flexibilidad puede ser útil en términos funcionales, aunque traslada parte de la responsabilidad al usuario final.

En conjunto, los hallazgos destacan la necesidad de evaluaciones personalizadas por parte de las organizaciones antes de adoptar modelos generativos en sus flujos de trabajo. La seguridad ofrecida por los modelos no es uniforme y depender exclusivamente de las salvaguardas integradas puede resultar insuficiente. Por tanto, resulta fundamental implementar políticas de uso responsable, monitoreo activo y medidas complementarias de protección para reducir la exposición a riesgos.

### Recomendaciones para Organizaciones

Para mitigar los riesgos identificados y fomentar una adopción segura y responsable de los LLMs, se formulan las siguientes recomendaciones para las organizaciones:

- **Priorizar la Gobernanza de LLMs:** Establecer marcos de gobernanza robustos desde el inicio, incluyendo políticas claras de uso de IA, clasificación de datos sensibles y procesos de aprobación obligatorios para la integración de LLMs en flujos de trabajo críticos.
- **Invertir en Entornos Privados o Soluciones RAG:** Para el manejo de datos sensibles, se debe priorizar el uso de LLMs auto-alojados o instancias privadas de modelos generativos. Alternativamente, implementar soluciones de Generación Aumentada por Recuperación (RAG) que integren los LLMs con bases de datos propietarias y seguras de la organización, asegurando que los datos sensibles permanezcan dentro del perímetro de control [29].
- **Implementar Controles de Acceso Granulares y Enmascaramiento Dinámico de Datos:** Extender los modelos de control de acceso existentes (RBAC, ABAC, ReBAC) a los LLMs y tratar a los agentes de IA como identidades de primera clase. Aplicar técnicas de enmascaramiento dinámico de datos para proteger la información sensible en prompts y salidas, permitiendo que los modelos funcionen sin exponer datos en texto claro [19, 21].
- **Fomentar una Cultura de Seguridad de la IA:** Implementar programas de capacitación y concientización del personal que eduquen sobre los riesgos del uso de la IA generativa, las limitaciones de los LLMs y la importancia de la verificación humana de las salidas. Establecer protocolos claros sobre qué tipos de datos nunca deben compartirse con asistentes inteligentes [3].

### Direcciones de Investigación Futura

Este estudio deja abiertas varias líneas interesantes para seguir profundizando en la seguridad de modelos de lenguaje en contextos corporativos. Algunas de las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



direcciones que podrían explorarse a continuación incluyen:

- **Ampliar el estudio a otras plataformas y APIs**: Hasta ahora solo se analizaron interfaces web gratuitas. Una próxima etapa podría incluir pruebas en APIs comerciales y modelos open-source como LLaMA o Mistral, que también están ganando espacio en entornos empresariales. Esto permitiría tener una visión más completa de las diferencias entre plataformas y sus niveles de seguridad.
- **Métricas específicas para uso empresarial**: Hoy en día faltan herramientas de evaluación pensadas para entornos corporativos. Sería importante desarrollar métricas que midan el riesgo de forma más concreta y que estén alineadas con los desafíos reales que enfrentan las organizaciones, más allá de los benchmarks clásicos usados en investigación académica.
- **Evaluar mecanismos de privacidad avanzados**: También sería interesante analizar cómo técnicas como la privacidad diferencial o la tokenización de datos afectan la seguridad y funcionalidad de los modelos. Además, se podría explorar si herramientas como la verificación formal podrían adaptarse a los LLMs, aunque hoy en día su complejidad técnica es una barrera importante.
- **Explorar defensas automáticas basadas en IA**: Otra línea muy prometedora es estudiar cómo usar LLMs para protegerse entre sí. Es decir, que un agente basado en IA pueda detectar o bloquear ataques automáticamente, avanzando hacia escenarios de "IA defendiendo contra IA". Esto marcaría un cambio importante de un enfoque reactivo a uno más proactivo en ciberseguridad.
- **Marco legal y responsabilidad sobre el uso de LLMs**: Por último, es fundamental seguir investigando el marco normativo que regula estas tecnologías. Hoy existen muchas dudas sobre cómo actuar frente a errores graves (como alucinaciones), filtraciones de datos o violaciones de propiedad intelectual causadas por un modelo generativo. Desarrollar marcos más claros ayudaría a definir responsabilidades y reducir riesgos legales.

La seguridad en IA no es un objetivo estático, sino un proceso en constante evolución. A medida que los modelos se vuelven más potentes y complejos, también lo hacen los riesgos. Por eso es clave que la investigación avance en paralelo, combinando tecnología, regulaciones y una comprensión más profunda del uso real que se les da a estos sistemas en las organizaciones.

## Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado de manera independiente, y representa tanto un desafío personal como una oportunidad de aprendizaje. Quiero agradecer especialmente al comité organizador del CONAIISI 2025 por abrir un espacio que impulsa a quienes investigamos a compartir ideas, contrastar perspectivas y crecer en una comunidad que valora la innovación y el debate crítico.

## Referencias

[1] Coralogix. (2025, 19 junio). Mitigating The Risk of Data Leakage in Generative AI - Coralogix. https://coralogix.com/ai-blog/understanding-the-threat-of-data-leakage-in-generative-ai/

[2] LLM Security Issues and Case Studies: The need for security guardrails. (2025, 11 marzo). S2W. https://Https://s2w.inc/en/resource/detail/759

[3] ChatGPT Security Risks and How to Mitigate Them: A Complete Guide | Nightfall AI. (s. f.). https://www.nightfall.ai/blog/chatgpt-security-risks-and-how-to-mitigate-them-a-complete-guide

[4] Golda, A., Mekonen, K., Pandey, A., Singh, A., Hassija, V., Chamola, V., & Sikdar, B. (2024b). Privacy and Security Concerns in Generative AI: A Comprehensive Survey. IEEE Access, 12, 48126-48144. https://doi.org/10.1109/access.2024.3381611

[5] Kosinski, M., & Forrest, A. (2025, 22 julio). Prompt Injection. What is a prompt injection attack? https://www.ibm.com/think/topics/prompt-injection

[6] noaber@checkpoint.com. (2025, 7 mayo). What Are the Main Risks to LLM Security? Check Point Software. https://www.checkpoint.com/cyber-hub/what-is-llm-security/llm-security-risks/

[7] Msrc. (2025, 29 julio). How Microsoft defends against indirect prompt injection attacks | MSRC Blog | Microsoft Security Response Center. https://msrc.microsoft.com/blog/2025/07/how-microsoft-defends-against-indirect-prompt-injection-attacks/

[8] Application Security Training for Developers | Kontra. (s. f.). Kontra. https://application.security/free/llm

[9] OWASP Top 10 LLM and GenAI. (2024, 19 agosto). Snyk Learn. https://learn.snyk.io/learning-paths/owasp-top-10-llm/

[10] IBM report: 13% of organizations reported breaches of AI models or applications, 97% of which reported lacking proper AI access controls. (2025, 30 julio). IBM Newsroom. https://newsroom.ibm.com/2025-07-30-ibm-report-13-of-organizations-reported-breaches-of-ai-models-or-applications,-97-of-which-reported-lacking-proper-ai-access-controls

[11] Southwick, R. (2025, 30 julio). The cost of healthcare breaches tops all industries, and AI emerges as a target. OncLive. https://www.chiefhealthcareexecutive.com/view/the-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cost-of-healthcare-breaches-tops-all-industries-and-ai-emerges-as-a-target

[12] LLM Evaluation: Frameworks, Metrics, and Best Practices. (2025, 25 junio). SuperAnnotate. https://www.superannotate.com/blog/llm-evaluation-guide

[13] Subramanian, T. S. S. (2025, 24 abril). Building an LLM evaluation framework: best practices | Datadog. Datadog. https://www.datadoghq.com/blog/llm-evaluation-framework-best-practices/

[14] LLM-as-a-judge: a complete guide to using LLMs for evaluations. (s. f.). https://www.evidentlyai.com/llm-guide/llm-as-a-judge

[15] Miguelañez, C. (2025, 18 junio). Top 7 Metrics for Ethical LLM Evaluation. Latitude Blog. https://latitude-blog.ghost.io/blog/top-7-metrics-for-ethical-llm-evaluation/

[16] Assessment Methods and Protection Strategies for Data Leakage Risks in Large Language Models - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/CORE-EVALUATION-METRICS-FOR-LLM-DATA-LEAKAGE-ASSESSMENT_tbl2_390393651

[17] Abraham, D. (s. f.). From Export Control to Internal Compliance: Building a Legal Policy for LLM Use in Marketing Analytics. MarTech. https://improvado.io/blog/llm-usage-policy-marketing-analytics

[18] Editorial Team. (2025, 2 mayo). Building Responsible AI: A Guide to Effective LLM Governance. Tredence. https://www.tredence.com/blog/llm-governance

[19] Access-control-strategies-in-Genai-LLM-systems. (s. f.). DataSunrise. https://www.datasunrise.com/knowledge-center/ai-security/access-control-strategies-in-genai-llm-systems/

[20] Michael, T. (2025, 2 julio). Using LLM for Cybersecurity Log Analysis: A Complete Guide. Tolu Michael. https://tolumichael.com/using-llm-for-cybersecurity-log-analysis-a-complete-guide/

[21] Dolly, J. (s. f.-b). The future of enterprise AI: Departmental LLMs and access control. Ory Corp. https://www.ory.sh/blog/auth-and-the-rise-of-departmental-llms

[22] PROTECCION DE LOS DATOS PERSONALES Ley 25.326. (s. f.). Infoleg. https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/60000-64999/64790/texact.htm

[23] AAIP. (2025, 29 julio). Argentina.gob.ar. https://www.argentina.gob.ar/aaip

[24] Schuster, K. (2025, 18 julio). LLM Failures: Avoid These Large Language Model Security Risks | Cobalt. Cobalt. https://www.cobalt.io/blog/llm-failures-large-language-model-security-risks

[25] Kosinski, M. (2025, 1 agosto). Data Breach. IBM. https://www.ibm.com/think/topics/data-breach

[26] Siegmann, B. (2025, 9 enero). *The 2024 Year in Review: Cybersecurity, AI, and Privacy Developments*. Hinckley Allen. https://www.hinckleyallen.com/publications/the-2024-year-in-review-cybersecurity-ai-and-privacy-developments/

[27] NIST AI Risk Management Framework: A tl;dr. (2025, 31 enero). wiz.io. https://www.wiz.io/academy/nist-ai-risk-management-framework

[28] AI RMF - AIRC. (s. f.). NIST AI Resource Center. https://airc.nist.gov/airmf-resources/airmf/

[29] Belcic, I., & Stryker, C. (2025, 17 abril). RAG vs. fine-tuning. IBM. https://www.ibm.com/think/topics/rag-vs-fine-tuning

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Diseño de estrategias de ciberengaño a partir de inteligencia de ciberamenazas

*Federico Pacheco, Diego Staino*
*Universidad Tecnológica Nacional, Instituto Universitario de la Policía Federal Argentina*
*fpacheco@frba.utn.edu.ar, dstaino@base4sec.com*

## Resumen

*Este trabajo propone un proceso sistemático que integra la Inteligencia de Ciberamenazas (CTI), el análisis de Tácticas, Técnicas y Procedimientos (TTPs) adversarios, y las estrategias de ciberengaño, como eje para fortalecer la defensa activa de organizaciones frente a amenazas avanzadas. A partir de una revisión del estado del arte, se identifican brechas en la integración operativa, y se presenta una metodología que guía desde la identificación de amenazas hasta la retroalimentación de inteligencia obtenida. Se busca una contribución que pueda transmitirse facilitando talleres prácticos, lo que constituyó la forma más efectiva durante la investigación del tema, en base a las experiencias obtenidas en distintos países, en el contexto eventos internacionales especializados, donde los mismos fueron presentados.*

## Introducción

En el panorama actual de ciberamenazas, los atacantes avanzados (como grupos APT) refinan constantemente sus tácticas, técnicas y procedimientos (TTPs), poniendo a prueba las defensas tradicionales de las organizaciones. Frente a adversarios organizados, y altamente adaptativos, las organizaciones han incorporado procesos cada vez más sofisticados de inteligencia de amenazas, o CTI (*Cyber Threat Intelligence*) para anticipar posibles ataques y comprender el comportamiento adversario en su contexto, a partir de las ideas tradicionales provenientes de los sistemas de inteligencia militares y gubernamentales.

Por otro lado, el ciberengaño (*Cyber Deception*) emergió como una estrategia avanzada de defensa activa, que implica desplegar señuelos, trampas, y distintos tipos de elementos falsos (honeypots, honeytokens, entornos ficticios, etc.) con el fin de confundir al adversario, retrasar su avance y recopilar información sobre sus métodos. Sus actividades se organizan en "operaciones" que implican una serie de etapas con un inicio y final bien definidos[1].

Estas dos áreas, CTI y ciberengaño, comparten un objetivo común: conocer al adversario para mejorar la postura de seguridad. Sin embargo, ambas se han desarrollado de forma independiente, aunque la bibliografía las interconecta y reconoce como parte de un mismo ciclo.

Pese a la importancia de su correlación, no suele indicarse como una progresión natural que se retroalimente mutuamente, ya que integrar CTI con estrategias de ciberengaño permite unir los extremos de un proceso que busca ser cíclico. La interacción de un atacante con activos señuelo puede exponer detalles valiosos de sus TTPs, enriqueciendo la inteligencia de amenazas de la organización. Por ejemplo, cualquier interacción no autorizada con un señuelo o distractor (*decoy*) es automáticamente considerada sospechosa, permitiendo detectar actividad maliciosa que otros controles podrían pasar por alto. Al observar cómo un adversario se mueve en un entorno simulado, el defensor obtiene información en tiempo real sobre las herramientas, técnicas y objetivos del atacante. Dichos hallazgos pueden ayudar a frustrar el ataque en curso, al tiempo que alimentan el ciclo de inteligencia para anticipar futuros intentos. No obstante, conectar de forma metodológica la información provista por CTI (especialmente al nivel de TTPs) con el diseño de estrategias de engaño no es trivial, y muchas organizaciones carecen de un procedimiento claro para traducir amenazas conocidas en engaños efectivos dentro de sus redes.

Este trabajo propone una metodología en pasos mínimos para lograr dicha conexión, sin perder excesiva precisión. La intención es fundamentar este enfoque con apoyo en literatura académica y marcos reconocidos de ciberseguridad, mientras se enfatiza su aplicabilidad práctica mediante dinámicas grupales en forma de talleres interdisciplinarios, como fue efectivamente probado.

En las secciones siguientes se revisan los enfoques existentes y sus limitaciones, se identifican brechas en la literatura actual, y finalmente se presenta la propuesta metodológica paso por paso, justificando cómo un enfoque simplificado constituye una contribución relevante, buscando mantener la profundidad. Hacia el final se reconocen y analizan las limitaciones de este enfoque, junto al planteo de futuras líneas de investigación relacionadas, y las conclusiones correspondientes.

Con esto presente, nuestra pregunta de investigación se refiere a cuáles son los pasos y decisiones mínimas que deberían seguirse en un proceso sistemático y colaborativo para integrar eficazmente la CTI y TTPs adversarias con las estrategias de ciberengaño, para ser efectivo en la mejora de la defensa proactiva y el enriquecimiento continuo de la comprensión de las ciberamenazas en organizaciones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Enfoques existentes

La propuesta de integrar las estrategias de engaño con inteligencia de amenazas ha ganado tracción en años recientes. Una de las iniciativas más destacadas es el marco MITRE Engage[2], que brinda un framework sistemático del denominado *Adversary Engagement* (compromiso con el adversario) que mapea las actividades de denegación y engaño directamente contra el marco de TTPs más popular de MITRE, que es ATT&CK framework. En otras palabras, por cada etapa donde ATT&CK describe comportamiento adversario, Engage se enfoca en cómo estos son vulnerables y sugiere técnicas de engaño o denegación para explotar esa vulnerabilidad a favor del defensor. Este enfoque facilita identificar en qué punto del ciclo de ataque un adversario puede ser engañado o influenciado, clarificando cuándo y cómo implementar engaños efectivos. De hecho, Engage proporciona matrices, *playbooks*, guías y recursos prácticos para que distintos roles (desde técnico hasta tomadores de decisiones) puedan planificar operaciones de engaño alineadas a comportamientos adversariales observados.

Un principio central que propone Engage es adoptar la perspectiva "Ver, Pensar, Hacer" para el diseño de engaños, buscando comprender qué queremos inducir que haga el adversario en beneficio nuestro, qué debe pensar o suponer para que realice esa acción, y qué debe ver (señuelos o información falsa) para generar esa creencia. Este razonamiento invertido simplifica la planificación de ciberengaño al alinear cada actividad con un objetivo, como lograr que el adversario se delate por un movimiento, o se encamine hacia un señuelo, y con el estado de conocimiento que se busca provocar. Engage, respaldado por años de experiencia operativa, ejemplifica cómo vincular CTI con engaño de manera estructurada, proporcionando una terminología común y casos de uso compartidos por la comunidad. El desafío principal de su uso y aplicación es que no define detalles de implementación, dejándolos a cada organización según su estrategia y postura de seguridad. Además, se requieren elementos adicionales como credibilidad en los señuelos y coherencia de los entornos de engaño, ya que adversarios avanzados pueden identificar y evadir trampas que, por ejemplo, carezcan de un contexto humano realista. Engage enfatiza fuertemente este punto, pero no profundiza en cómo conseguirlo.

Otra línea de trabajo vigente son las investigaciones académicas y de la industria que exploran automatizar o mejorar la creación de engaños basados en inteligencia de amenazas. Se han desarrollado herramientas de orquestación de engaños, que analizan comportamientos de malware o patrones de ataque y seleccionan dinámicamente señuelos preconfigurados en respuesta[3]. Estas soluciones representan un paso adelante al introducir cierta inteligencia en la activación de engaños según la amenaza detectada. Sin embargo, muchas dependen de reglas estáticas o un conjunto de engaños predefinidos, lo que limita su adaptabilidad frente a escenarios novedosos o inesperados. Aquí surgen propuestas innovadoras que aprovechan nuevas tecnologías, como ser el uso de IA generativa para enriquecer la estrategia de engaño[4]. Investigaciones recientes han explorado modelos de lenguaje (LLMs) capaces de analizar informes de inteligencia de amenazas y generar o trampas altamente contextualizadas. Un estudio de 2024 introdujo el framework SPADE, que emplea técnicas de *prompt engineering* estructurado para que ChatGPT y modelos similares produzcan artefactos de engaño (archivos señuelo, respuestas falsas, etc.) adaptados a tácticas específicas de malware observadas[5]. Esta línea demuestra el potencial de automatizar la traducción de CTI en engaños efectivos, reduciendo la carga manual y ampliando el repertorio de trampas disponibles.

En cuanto a metodologías colaborativas, se destaca la aplicación de *Design Thinking* al diseño de ciberengaño[6]. Para esto, se llevó a cabo un taller con expertos de diversos campos (academia, gobierno, industria) usando enfoques de design thinking para idear estrategias de engaño más allá del plano técnico. Su estudio partió de la premisa de que las herramientas de ciberengaño existentes se basan en un conjunto limitado de técnicas y típicamente se circunscriben al entorno de red. Así, lograron fusionar técnicas de engaño del ámbito físico y cognitivo con el desarrollo tecnológico, generando nuevas ideas para señuelos que abarcan desde la infraestructura digital hasta la manipulación psicológica del adversario. Los resultados incluyeron mapas de recorrido para operacionalizar escenarios de engaño y recomendaciones de cómo incorporar perspectivas interdisciplinarias en el proceso de diseño. Este enfoque refuerza la noción de que la planificación de engaños se beneficia de dinámicas grupales creativas, donde la inteligencia de amenazas puede presentarse como insumo (por ejemplo, perfiles de adversarios y sus TTPs) y los participantes pueden "pensar como el enemigo" para concebir engaños novedosos.

Por último, vale mencionar iniciativas emergentes que evidencian la convergencia entre CTI y ciberengaño. Un ejemplo es el framework DECEPT-CTI[7], que propone extraer automáticamente inteligencia de amenazas desde informes no estructurados para alimentar la planificación de engaños, o la primera plataforma de CTI basada en ciberengaño orientado a sistemas de IoT de agricultura[8]. También se propuso un sistema de ciberengaño en redes definidas por software (SDN) que combina señuelo en entornos IoT con información de CTI[9]. La sola aparición de trabajos así indica que la comunidad de investigación reconoce la necesidad de herramientas y metodologías que unan ambos mundos.

Desde organizaciones como MITRE se promueve abiertamente combinar sus marcos de ataque y defensa: con ATT&CK sabemos qué hará el adversario y cómo detectarlo; con Engage decidimos si en vez de bloquearlo de inmediato, lo dejamos avanzar bajo observación mediante un señuelo. Esta filosofía llamada *Threat-Informed Active Defense* (Defensa Activa mediante Amenazas Informadas) resume los enfoques actuales: usar el conocimiento de TTP del adversario para informar cuándo conviene engañar en vez de simplemente bloquear, de modo que se pueda aprender más del atacante y fortalecer las defensas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Brechas identificadas en la literatura

Las brechas actuales se pueden sintetizar en tres puntos clave que la presente investigación busca abordar, y que ofrecen la oportunidad para una contribución metodológica que reduzca dichos vacíos.

### Complejidad y barreras para la adopción

Un obstáculo principal para la adopción real de los programas de ciberengaño es el alto costo y la complejidad inherente que implica la generación de señuelos realistas y convincentes[10]. Las soluciones existentes a menudo requieren expertos altamente especializados e inversiones considerables de tiempo y recursos. Esta situación crea una brecha entre la promesa teórica del ciberengaño y su implementación práctica en muchas organizaciones. La naturaleza prohibitiva de estos requisitos desincentiva el despliegue generalizado de tecnologías de engaño, especialmente para organizaciones con recursos modestos. Esto pone de manifiesto la necesidad de un enfoque más accesible y estandarizado que mantenga la eficacia sin incurrir en una complejidad excesiva.

La combinación de la complejidad inherente y la ausencia de una guía procedimental estandarizada y accesible crea un "abismo de adopción"[11]. Las organizaciones se ven disuadidas no solo por el desafío técnico, sino también por la falta de una hoja de ruta clara y repetible para la implementación práctica. Este vacío procedimental exacerba la percepción de altos costos y requisitos de experiencia, haciendo que el ciberengaño parezca inalcanzable para muchos. Esta brecha representa una ineficiencia significativa en el mercado de la ciberseguridad, ya que una capacidad defensiva potente que permanece infrautilizada sugiere que un enfoque para avanzar en el campo debe ser democratizar el acceso al ciberengaño efectivo, no solo desarrollar herramientas más sofisticadas y poderosas.

Las tecnologías modernas de ciberengaño son provistas por empresas que proveen productos de un alto grado de complejidad o un alcance acotado a una función en particular, y costos de licenciamiento prohibitivos para entornos pequeños y medianos. Esto limita el acceso de otro tipo de organizaciones que no se trate de grandes corporaciones o gobiernos. Aunque existen propuestas de software libre para ayudar al despliegue de honeypots y elementos específicos de engaño[12], hay gran distancia entre estos elementos individuales, y la implementación de estrategias de ciberengaño, de la cual los mismos son solo una pequeña parte.

No obstante, es posible que una organización decida realizar su propia implementación de operaciones de ciberengaño, ya que la temática puede estudiarse en profundidad por parte de los profesionales de ciberseguridad internos, y mediante el uso de herramientas de software libre, y scripts o programas de código propio, realizar las tareas que se requieren. Este escenario es más viable en entornos grandes, que son los que suelen contar con los medios para afrontar los costos antedichos, pero igualmente es viable en otros ámbitos de diferentes tamaños, niveles de conocimiento, y cantidad de profesionales dedicados. En el caso de que se avance en el camino por vía propia, aún se debe superar la barrera de complejidad que se adiciona al entorno productivo, que puede aumentar los riesgos en distintos frentes. A esto se le suma que lo antedicho se contrapone comúnmente con los intereses de las áreas de tecnología e infraestructura, que son quienes asumen gran parte del riesgo operativo, lo que puede dificultar el avance de un proyecto de tales características.

### Ausencia de guías procedimentales

Si bien marcos como MITRE Engage proporcionan estructuras robustas, la literatura existente se centra predominantemente en tecnologías específicas, como honeypots, honeytokens, o sistemas automatizados, o también en estudios muy especializados. Existe una notable falta de guías concisas que expliquen paso por paso cómo conectar la CTI y el ciberengaño dentro de un contexto organizacional típico. Esto deriva en que las organizaciones a menudo carecen de un proceso reproducible para diseñar estrategias de engaño adaptadas a sus amenazas específicas. Y es que este tipo de guías requerirían de un alto grado de detalle de cada entorno, lo que reduce su capacidad de generalizarse, y por tanto su utilidad universal.

Además, la integración continua de la inteligencia de amenazas más reciente en las estrategias de engaño para mantener su relevancia no está mayormente estandarizada, pese a los enormes avances de los últimos años. Las organizaciones con frecuencia aplican criterios ad-hoc para decidir qué datos de CTI (indicadores, TTPs) deben informar qué señuelos, lo que conduce a enfoques fragmentados e inconsistentes.

### Desconexión en la planificación colaborativa

La mayor parte de la literatura técnica sobre engaño se centra en la infraestructura (redes, sistemas señuelo, análisis de malware) y se presta menos atención a cómo involucrar de manera eficiente a diversos roles humanos en la concepción de escenarios de engaño. Si bien estudios como el mencionado taller de *design thinking* demuestran el valor de fusionar perspectivas cognitivas y técnicas para generar ideas de engaño más creativas, tales ejercicios colaborativos siguen siendo excepcionales en lugar de una práctica estándar y transversalmente adoptada.

Esto sugiere la necesidad de un modelo de trabajo colaborativo fácil de seguir que guíe a los equipos en la traducción del conocimiento de las amenazas (generalmente presentado en informes, matrices ATT&CK u hojas de indicadores) en trampas y dinámicas engañosas concretas dentro de su propia red. El "elemento humano", tanto en términos de la psicología del adversario como de la inteligencia colectiva del defensor, representa una frontera poco explorada y crítica en el diseño de engaños. El enfoque técnico actual pasa por alto la ventaja estratégica que se obtiene al manipular los sesgos cognitivos de un adversario o al aprovechar la experiencia diversa dentro de un equipo defensivo. El éxito de los talleres de *design thinking* es una

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



prueba no menor de que la verdadera innovación en el engaño surge de la combinación del conocimiento técnico con la perspicacia psicológica humana y la resolución colaborativa de problemas. Dicho esto, puede deducirse que ignorar el elemento humano en la planificación del engaño crea un punto ciego estratégico.

Los adversarios no son solo entidades técnicas; son actores humanos con sesgos, suposiciones y procesos de toma de decisiones que pueden ser explotados. Una metodología que incorpore explícitamente la colaboración humana multidisciplinar puede diseñar engaños que no solo sean técnicamente sólidos, sino también psicológicamente convincentes, haciéndolos mucho más efectivos que las trampas puramente tecnológicas. Esto subraya la necesidad de pasar de una mentalidad puramente "máquina contra máquina" a un enfoque más holístico de "mente contra mente" en la ciberseguridad, que ha disminuido a lo largo de las últimas dos décadas en virtud de la automatización, el software y las tecnologías modernas de seguridad.

## Propuesta metodológica

Durante más de tres años de investigación en ciberengaño y temas relacionados, encontramos mayormente que las barreras en la adopción se centraron en las brechas anteriormente detalladas. Estos puntos son los que hemos buscado superar mediante propuestas derivadas de la experiencia de campo en el tema, lo que llevó a varias publicaciones de trabajos de investigación y herramientas de software por parte de los autores en virtud de allanar este camino y proporcionar una perspectiva constructiva.

A continuación, se presenta una metodología en siete pasos para conectar la inteligencia de amenazas (CTI) y las TTPs adversarias con el diseño de estrategias de ciberengaño. Se ha buscado que los pasos sean los mínimos necesarios para abarcar el ciclo completo (desde la inteligencia hasta la implementación y retroalimentación), manteniendo la secuencia lógica y la profundidad analítica en cada etapa. Esta propuesta se nutre de los enfoques existentes, pero los destila en un proceso concreto, concebido para ser aplicable en entornos corporativos mediante trabajo colaborativo, y especialmente adaptable a entornos más pequeños y menos extensos.

La metodología propuesta responde directamente a las brechas identificadas en la literatura, y proporciona una guía procedimental y secuencial, trascendiendo las integraciones puramente tecnológicas. Su objetivo es reducir la complejidad percibida en el diseño de las operaciones de engaño, disminuyendo la barrera de entrada para organizaciones con recursos más limitados. Además, incorpora explícitamente las dinámicas colaborativas y enfoques centrados en el ser humano en su diseño e implementación recomendada.

Se describe como minimalista en sus pasos estructurados, centrándose en los elementos esenciales necesarios para un ciclo de engaño integral. Esta simplicidad busca reducir la complejidad, que ha sido un impedimento significativo para la adopción del ciberengaño, tal como se explicó anteriormente. Sin embargo, no deja de ser completa, al asegurar que cada etapa incorpore las mejores prácticas y lecciones de la literatura, como la consideración de la CTI en todos los niveles, el mapeo contra ATT&CK, el uso de múltiples tipos de señuelos y el aprendizaje continuo. El aspecto minimalista se refiere entonces a su estructuración, no a la superficialidad de su alcance. Esta elección de diseño estratégica permite abordar directamente la barrera de la complejidad. Al condensar el proceso en pocos pasos, se reduce la sobrecarga aparente y se disminuye la barrera de entrada para su adopción en las organizaciones de todo tipo.

Como se dijo, esta simplicidad no se logra sacrificando la profundidad analítica o las mejores prácticas, sino que implica un proceso eficiente y optimizado que guía a los usuarios a través de tareas complejas, evitando la sobrecarga de información. Así, el valor reside en la claridad del camino, no en la brevedad de los conceptos subyacentes. Este enfoque democratiza el acceso a capacidades sofisticadas de ciberengaño, permitiendo que una gama más amplia de organizaciones, no solo aquellas con equipos de élite o grandes presupuestos, implementen engaños impulsados por la inteligencia. Esto contribuye a una postura de defensa colectiva más robusta en todo el ecosistema de la ciberseguridad.

Finalmente, busca establecer un círculo virtuoso continuo y de auto refuerzo, y está diseñada para ser aplicable en entornos organizacionales y corporativos diversos, enfatizando la ejecución práctica a través del trabajo colaborativo. A diferencia de las defensas estáticas, este proceso garantiza que cada interacción con un adversario, incluso un intento de ataque exitoso en un señuelo contribuya directamente a una comprensión más profunda de la amenaza. Esta comprensión, a su vez, mejora causalmente la eficacia de las medidas defensivas posteriores, incluidas las futuras operaciones de engaño. El ciclo asegura que las defensas no solo sean reactivas, sino adaptativas y proactivas, evolucionando constantemente con el propio adversario. Este bucle de retroalimentación iterativo permite transformar la postura de seguridad de una organización de un estado fijo a un sistema dinámico de aprendizaje. Finalmente, capacita a los defensores para tomar la iniciativa estratégica al refinar continuamente su comprensión del atacante y ajustar sus defensas, lo que en última instancia conduce a una estrategia de ciberseguridad más resiliente y preparada para el futuro. A modo de primera aproximación, se mencionan primeramente los siete pasos propuestos:

1. Identificación de amenazas y TTPs
2. Decisiones estratégicas y de diseño
3. Análisis de TTPs y escenarios de engaño
4. Diseño de estrategias de ciberengaño
5. Diseño de narrativas de engaño
6. Implementación y despliegue de elementos
7. Monitoreo, análisis y retroalimentación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A continuación, se detallará cada uno de estos pasos, indicando su objetivo e idea principal, junto con el producto o resultado de salida de estos.

### Paso 1: Identificación de amenazas y TTPs

El objetivo de esta fase inicial es recopilar y filtrar la inteligencia de amenazas pertinente a la organización, identificando a los adversarios probables y sus métodos operativos. Los analistas de CTI compilan información de fuentes diversas y confiables, incluyendo informes de amenazas recientes, flujos continuos de CTI (comerciales o públicos) y análisis internos de incidentes de seguridad ocurridos en el pasado.

La idea principal es elaborar perfiles de adversarios, identificando a los atacantes más propensos a dirigirse a la organización o a su sector, y comprendiendo sus motivaciones, capacidades y patrones operativos típicos. Fundamentalmente, los analistas extraen las Tácticas, Técnicas y Procedimientos (TTPs) características asociadas con estos adversarios. Esto a menudo implica mapear los comportamientos observados a marcos como MITRE ATT&CK, identificando técnicas específicas utilizadas por grupos o malware activo relevante para el sector. Un análisis de CTI exhaustivo integra perspectivas estratégicas (por ejemplo, objetivos del atacante, motivaciones geopolíticas), tácticas/operacionales (por ejemplo, TTPs a lo largo de la cadena de eliminación cibernética) y técnicas (como Indicadores de Compromiso (IoCs), *exploits* conocidos, firmas de malware). Este enfoque multicapa garantiza una comprensión integral de la amenaza.

El producto esperado de este paso es un perfil de amenaza claramente definido. Este perfil articula, por ejemplo: "El adversario X probablemente intentará A, B, C (TTPs específicas) contra nuestros activos críticos W y Z". Este perfil sirve como el insumo fundamental para todo el diseño e implementación de engaños posteriores.

Vale destacar que este primer paso no es ni más ni menos que el proceso estándar de perfilado del ciber atacante, a través de la recopilación de información de inteligencia de ciberamenazas. La única distinción que hacemos en nuestra propuesta es la especificidad del producto, a fin de que esté especialmente orientado a cumplir los requisitos de los pasos subsiguientes, y reforzar el final del ciclo para facilitar la retroalimentación.

### Paso 2: Decisiones Estratégicas y de Diseño

Este segundo paso es fundamental para establecer los cimientos de toda la operación de ciberengaño, asegurando que esté alineada con los objetivos de seguridad de la organización y que se gestione dentro de límites operativos y éticos claros. Constituye una fase de planificación de alto nivel que precede al diseño técnico y táctico. El objetivo primordial de esta etapa es establecer los parámetros estratégicos, operativos, éticos y de recursos que guiarán la totalidad de la operación de ciberengaño, garantizando su alineación con los objetivos de seguridad de la organización y la viabilidad de su implementación.

Las actividades clave en este paso comienzan con la definición de los objetivos estratégicos del engaño. Más allá de la simple detección, es imperativo articular claramente qué se busca lograr a nivel estratégico. Estos objetivos pueden ser múltiples y complementarios, incluyendo la detección temprana de adversarios en fases iniciales de su ataque, antes de que causen un impacto significativo; la recolección de inteligencia detallada sobre sus TTPs, herramientas, infraestructura, motivaciones y objetivos específicos en un entorno controlado; la disuasión y el desgaste para aumentar el costo, el riesgo y el tiempo necesarios para que el adversario logre sus metas[13]; la atribución mediante la recopilación de evidencia forense y de comportamiento; y la validación de los controles de seguridad existentes de la organización en escenarios simulados o reales.

Seguidamente, se procede al establecimiento de las reglas de interacción, conocidas como *Rules of Engagement* (RoE), que definen los límites precisos y no negociables para la operación de engaño. Esto es también vital para la legalidad, la ética y la seguridad de la propia red. Implica asegurar el cumplimiento con leyes de privacidad de datos (como GDPR o CCPA), regulaciones sectoriales (como HIPAA o PCI DSS) y políticas internas de la organización, evitando la trampera o atracción ilegal (*entrapment*) es decir, inducir a un adversario a cometer un delito que de otro modo no habría cometido.

Asimismo, se establecen límites operativos que dictan el tipo y el grado de interacción activa permitida con el adversario, cuándo escalar una alerta a un equipo de respuesta a incidentes (CSIRT) y qué acciones están estrictamente prohibidas, tales como afectar sistemas de producción, interactuar con sistemas externos del atacante o lanzar contraataques. Paralelamente, se realiza una gestión de riesgos proactiva para evaluar y mitigar los peligros asociados al despliegue de engaños, como el riesgo de que el adversario "salte" del *honeypot* a la red real de producción, o la posibilidad de que el engaño sea detectado, comprometiendo futuras operaciones.

Otro componente crítico es la selección del entorno de despliegue, que tiene implicaciones significativas para el realismo, el riesgo y el costo. Se debe decidir si los señuelos se implementarán en un entorno integrado o de producción para una mayor credibilidad y realismo, asumiendo los mayores riesgos que esto conlleva si no se gestiona y segmenta correctamente, o en un entorno aislado, de laboratorio o en la nube para minimizar el riesgo a la producción, lo cual es ideal para pruebas, investigación de malware o para engaños de alta interacción donde se permite al adversario operar con mayor libertad. La elección final dependerá de los objetivos específicos del engaño, el nivel de riesgo aceptable, el presupuesto disponible y la capacidad de monitoreo de la organización.

Finalmente, se lleva a cabo la definición de roles y responsabilidades, clarificando quién hace qué dentro de la operación de engaño para lograr una ejecución lo más fluida y coordinada posible. Esto incluye al equipo de CTI para la inteligencia inicial y el consumo de la que fue generada; al

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



equipo SOC/IR para el monitoreo de alertas producidas por los señuelos y la respuesta a incidentes; al equipo de seguridad ofensiva o *Red Team*, para ayudar en el diseño de la credibilidad del engaño y en las pruebas de su efectividad; al equipo legal y/o de privacidad de datos, para asegurar el cumplimiento de las RoE y las normativas; y a la dirección, equipo de *management* y otros líderes para la provisión de los recursos necesarios y la aprobación de la operación. Complementariamente, se realiza la estimación de recursos, evaluando la disponibilidad de personal humano (personal especializado en engaño, analistas), tecnológico (hardware, software, plataformas de engaño, herramientas de monitoreo) y financiero (presupuesto para herramientas, infraestructura, capacitación).

El producto de este paso es un documento formal de "Decisiones estratégicas y de diseño" que articula los objetivos claros de la operación de engaño, las *Rules of Engagement* detalladas, la selección del tipo de entorno de despliegue, y las responsabilidades asignadas a cada equipo. Este documento sirve como contrato interno y guía fundamental para las fases que siguen.

### Paso 3: Análisis de TTPs y escenarios de engaño

Con las TTPs prioritarias determinadas, el objetivo de este paso es mapear cómo esas TTPs podrían manifestarse en el entorno específico de la organización e identificar oportunidades estratégicas para la intervención engañosa. Esta fase implica una forma de "modelado de amenazas" específicamente adaptada para identificar "puntos de engaño" o momentos oportunos para la intervención. El equipo analiza la infraestructura interna de la organización, sus procesos y posibles vulnerabilidades en relación con las TTPs del adversario identificadas.

Se recomienda el uso de marcos como MITRE ATT&CK para visualizar la cadena de ataque esperada del adversario perfilado. El equipo identifica fases o técnicas específicas dentro de esta cadena donde los señuelos o las acciones de negación podrían insertarse estratégicamente. Por ejemplo, si la CTI indica que un atacante suele realizar exploración de puertos (reconocimiento) y luego intenta movimiento lateral explotando credenciales, el equipo consideraría si puede desplegar hosts señuelo que detecten esa exploración, o si pueden plantar credenciales falsas para que las robe y así redirigirlo a un sistema trampa.

Un aspecto crucial es intentar pensar como el adversario, anticipando sus rutas de ataque más probables e identificando "puntos de engaño" a lo largo de estas rutas. Las ayudas visuales, como mapas de calor de ATT&CK o diagramas de *Cyber Killchain*, pueden facilitar esta visualización y la lluvia de ideas. Siguiendo la lógica de MITRE Engage, que enfatiza el mapeo de las actividades de compromiso adversarial a las oportunidades defensivas correspondientes, el equipo decide qué TTPs del atacante modelo son más adecuadas para el engaño. La priorización debe centrarse en escenarios que sean factibles de implementar y que ofrezcan un alto impacto, como la detección temprana mediante el engaño en las etapas de reconocimiento o la protección de datos sensibles mediante el engaño en las fases de exfiltración.

El producto esperado de este paso es una lista taxativa y refinada de escenarios de ciberengaño viables. Cada escenario está claramente vinculado a una o más TTPs específicas del adversario que la organización pretende contrarrestar, explotar o de las que desea aprender.

### Paso 4: Diseño de estrategias de ciberengaño

En este punto, el objetivo es diseñar las técnicas de engaño específicas y concretas para cada escenario priorizado, delineando su propósito, el efecto deseado y cómo se medirá su éxito. Esta fase es donde la creatividad táctica es primordial, siempre guiada por el principio rector de lo que queremos que haga o piense el adversario, y cómo podemos lograrlo.

Para cada escenario definido en el paso anterior, el equipo diseña la trampa precisa. Por ejemplo, si el escenario es "atrapar a un atacante que busca credenciales válidas", la trampa podría incluir la creación de cuentas señuelo tentadoras con nombres atractivos, o la colocación de archivos falsos del estilo *passwords.xlsx* (*honeyfiles*) en ubicaciones donde el adversario podría intentar acceder. O si, por ejemplo, el escenario es "detectar exploración interna", la estrategia podría incluir el despliegue de honeypots de red (sistemas ficticios que anuncian servicios vulnerables) para atraer la actividad de escaneo del atacante en cuestión.

Para cada engaño planificado, se deben especificar como mínimo los siguientes atributos clave: la actividad específica (por ejemplo, señuelo, honeytoken, redirección, ofuscación), el objetivo (qué TTP adversaria busca explotar, monitorear o interrumpir), el efecto deseado en el atacante (por ejemplo, confundirlo, ralentizarlo, obtener inteligencia específica) y cómo se medirá el éxito (por ejemplo, indicadores de compromiso (IoCs) generados por la interacción con el señuelo, alertas específicas activadas, cambios observados en el comportamiento del atacante). Es beneficioso consultar y adaptar técnicas de catálogos de engaño establecidos, como los documentados en MITRE Engage, que cubre tácticas desde las más básicas (por ejemplo, servicios falsos) hasta operaciones elaboradas (por ejemplo, detonación controlada de malware).

Las mejores prácticas en este aspecto sugieren combinar múltiples capas de engaño, a través de redes, sistemas, archivos y datos, para maximizar la superficie de compromiso y aumentar la probabilidad de éxito. Una consideración crítica es asegurar que cada engaño se integre sin problemas y sin afectar negativamente los sistemas de producción legítimos. Esto implica añadir "capas de engaño" al entorno real sin introducir nuevas vulnerabilidades ni interrumpir las operaciones normales.

El producto esperado de este paso es un plan de engaño detallado y por escrito, reflejado en un documento que sirve como un guion completo para la operación, describiendo precisamente qué se desplegará, dónde, con qué señuelos específicos y qué comportamiento o inteligencia se espera obtener del adversario.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Paso 5: Diseño de narrativas de engaño**

Este paso es fundamental para la eficacia de una operación de ciberengaño, ya que se centra en la creación de una realidad falsa coherente y convincente, que el adversario percibirá como legítima. El objetivo no es solo desplegar señuelos técnicos, sino construir una historia o guion que guíe las acciones del atacante hacia los objetivos del defensor, explotando sus sesgos cognitivos y suposiciones típicas.

Para la definición del guion, basándose en los escenarios seleccionados (paso 3) y el perfil del adversario (paso 1), se define la narrativa que el atacante encontrará. Esto implica considerar las suposiciones probables del adversario sobre el entorno de la víctima, sus sesgos (por ejemplo, la tendencia a seguir el camino de menor resistencia o a confiar en información que confirma sus hipótesis) y sus objetivos específicos, como por ejemplo la exfiltración de datos de propiedad intelectual, o la interrupción de operaciones.

Para la identificación de elementos narrativos, se determinan los tipos de información falsa, sistemas señuelo, usuarios ficticios, o datos fabricados que formarán parte de esta narrativa. Por ejemplo, si la narrativa es que un servidor específico contiene información crítica, se deben crear metadatos, nombres de archivos y estructuras de directorios que refuerzan esa idea.

Es clave asegurar coherencia, la narrativa debe ser internamente consistente y plausible desde la perspectiva del adversario. Cualquier inconsistencia puede romper la ilusión de veracidad y alertar al atacante. Esto requiere una atención meticulosa a los detalles, asegurando que los nombres de usuarios, nombres de archivos, direcciones IP, servicios y cualquier otro elemento del engaño encajen perfectamente en la historia que se quiere contar.

No debe menospreciarse el impacto psicológico, es decir analizar cómo la narrativa puede explotar sesgos cognitivos del adversario. Por ejemplo, el sesgo de confirmación puede ser explotado presentando información que el atacante espera ver, lo que lo hace menos propenso a dudar de su autenticidad. La urgencia o la oportunidad pueden ser inducidas para acelerar sus acciones hacia un señuelo específico. En definitiva, se trabaja sobre lo que queremos que el adversario vea para que piense de cierta manera y haga lo que deseamos. Si bien no se profundiza en el aprovechamiento de los sesgos cognitivos, es menester el estudio pormenorizado de los mismos, con la colaboración de especialistas en psicología del comportamiento, si se quiere llevar este paso a los mayores grados de complejidad.

En esta etapa también se incorpora el diseño de esquemas de "migas de pan" (*breadcrumbs*) que guiarán al adversario a través de la narrativa hacia los puntos de engaño deseados. Estas pueden ser desde credenciales falsas en un archivo de configuración, hasta entradas DNS falsas, o enlaces a documentos señuelo.

Para esta etapa y en la medida de lo posible, es de gran aporte la colaboración de equipos de seguridad ofensiva o *red team*, o bien especialistas en emulación de adversarios para refinar la credibilidad de la narrativa desde la perspectiva de un atacante real. Su experiencia puede identificar debilidades en la historia o sugerir elementos que la hagan más convincente.

Como producto, se debe obtener un documento de narrativa de engaño bien definido. Este documento describe la realidad falsa que se construirá, los elementos clave que la componen, y el impacto psicológico deseado en el adversario. Esta narrativa servirá como el plano estratégico para el diseño técnico de los señuelos en el siguiente paso, y deberá chequearse su consistencia al finalizar el diseño.

**Paso 6: Implementación y despliegue de elementos**

Una vez diseñadas las estrategias, el objetivo de esta etapa es desplegar técnicamente los mecanismos de engaño dentro de entornos definidos (aislados o no), integrándolos en la arquitectura de seguridad existente. El equipo técnico procede con la configuración y el despliegue de los elementos de engaño, lo que puede implicar: la configuración de honeypots (por ejemplo, máquinas virtuales instrumentadas para el registro) en segmentos de red estratégicos; la colocación de documentos trampa (*honeyfiles*) en ubicaciones de archivos compartidos o repositorios internos; la creación de cuentas de usuario falsas o cuentas de servicio (*honey accounts*) dentro del directorio activo u otros sistemas de gestión de identidades; y la configuración de sistemas de alerta para que se activen notificaciones específicas al interactuar con cualquier señuelo.

Una buena práctica es probar a fondo cada engaño a pequeña escala antes de su activación completa. Esto asegura que el engaño no interfiera con los sistemas legítimos y que sea realmente atractivo y convincente para un adversario. Paralelamente al despliegue, deben establecerse mecanismos robustos de monitoreo y recolección de inteligencia. Esto incluye: el registro centralizado de los honeypots para capturar todas las interacciones del adversario; la integración con sistemas de Gestión de Información y Eventos de Seguridad (SIEM) para alertas en tiempo real sobre el uso de honeytokens o el acceso no autorizado a señuelos; y la grabación de sesiones en sistemas de señuelo más avanzados para capturar el comportamiento detallado del adversario.

Una vez desplegada, la operación de ciberengaño debe funcionar de forma mayormente autónoma, a la espera del adversario. Esto encarna el concepto de "defensa activa": en lugar de simplemente bloquear los ataques, se permite que el atacante interactúe con activos falsos bajo vigilancia controlada, en un contexto preparado, y con un plan definido. Como ha de suponerse, cualquier actividad dirigida hacia un señuelo es inherentemente sospechosa, ya que no debería haber una razón legítima para que un usuario o sistema normal interactúe con estos activos falsos. Esto reduce significativamente el ruido y los falsos positivos en los sistemas de detección. Además, al involucrar al adversario en la trampa, el equipo de defensa puede observar sus tácticas, técnicas, herramientas y procedimientos en tiempo real, aprendiendo de primera mano sin arriesgar activos de producción reales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El producto esperado de este paso es un entorno de engaño operativo. Este entorno está activo, integrado en la arquitectura de seguridad de la organización, con señuelos desplegados y monitoreados continuamente, listo para detectar intrusos y recopilar inteligencia en tiempo real sobre sus actividades.

Como puede verse, este paso es equivalente a la propia implementación de cualquier estrategia de engaño, solo que obedece a una planificación estructurada con un fin específico, y de forma simplificada.

**Paso 7: Monitoreo, análisis y retroalimentación**

El ciclo se completa con la etapa de explotación de la inteligencia obtenida a través de las operaciones de engaño, y su retroalimentación sistemática al programa de CTI de la organización y a la postura de seguridad general, asegurando una mejora continua. A medida que los atacantes interactúan con los señuelos desplegados (ya sea en ejercicios simulados o en incidentes reales), el equipo debe recopilar y analizar diligentemente todos los datos relevantes. Esto incluye: registros de comandos ejecutados en honeypots, detalles de archivos que intentó robar, direcciones IP y malware utilizados, técnicas de movimiento lateral observadas y cualquier error o paso en falso cometido por el adversario.

Este análisis forense de las incursiones en los señuelos es crucial para generar inteligencia accionable sobre las TTPs del adversario. Toda la información recopilada debe compararse rigurosamente con la inteligencia de amenazas inicial obtenida en el primer paso. Las preguntas clave que deben hacerse incluyen: ¿Corroboró el adversario las TTPs esperadas? ¿Empleó alguna técnica nueva o imprevista? Esta comparación ayuda a validar la inteligencia inicial e identificar amenazas emergentes. Es muy probable que se descubran nuevos Indicadores de Compromiso (IoCs) o variaciones de técnicas conocidas durante este análisis. Estos hallazgos son invaluables y deben ser retroalimentados a la base de conocimiento de CTI de la organización.

Este paso final incluye la difusión de inteligencia tanto internamente (por ejemplo, a equipos SOC, respondedores a incidentes) como, cuando sea apropiado, externamente a comunidades de confianza, por ejemplo, compartiendo IoCs o lecciones aprendidas en centros de análisis e intercambio de información (ISACs) u otras redes de confianza. Fundamentalmente, la información obtenida debe conducir a ajustes dinámicos en los mecanismos de defensa. Esto implica: refinar las reglas de detección existentes basándose en los comportamientos adversarios observados; modificar futuras estrategias de engaño para cubrir técnicas de atacante recién identificadas o para hacer los señuelos más convincentes; y redirigir los esfuerzos de recolección de inteligencia de la organización para investigar nuevas pistas obtenidas de los compromisos de engaño.

El producto esperado de este paso son informes de inteligencia posteriores a la operación de ciberengaño que detallan lo aprendido sobre el atacante. Esto conduce a mejorar la base de conocimiento de CTI organizacional y a ajustes informados tanto en los controles de seguridad tradicionales como en las futuras estrategias de engaño, asegurando un ciclo de mejora continua.

Posteriormente, se podrá recomenzar desde el primer paso con más información sobre el atacante, y así poder reajustar, afinar o modificar los objetivos de los pasos iniciales, para generar operaciones cada vez más efectivas.

Para mayor claridad, la siguiente tabla resume la propuesta metodológica con sus siete pasos, objetivos y productos principales:

| Paso | Descripción | Producto/Resultado |
|---|---|---|
| 1. Identificación de amenazas y TTPs relevantes | Recopilar CTI pertinente (actores de amenaza, técnicas probables). Analistas extraen TTPs clave (ej. técnicas ATT&CK) que afecten a la organización. | Perfil de amenaza y TTPs priorizadas (qué hace el adversario, contra qué activos). |
| 2. Definición de decisiones estratégicas y de diseño | Establecer los parámetros estratégicos, operativos y éticos que guiarán la operación de engaño. | Documento de decisiones estratégicas: objetivos, reglas de interacción, entorno, roles, recursos. |
| 3. Análisis de TTPs y selección de escenarios de engaño | Mapear las TTPs en el contexto interno. Identificar en qué fases/rutas del ataque se pueden insertar señuelos. Priorizar escenarios factibles para engañar/detectar al adversario. | Lista de escenarios de ciberengaño seleccionados, vinculados a TTPs específicas. |
| 4. Diseño detallado de las estrategias de ciberengaño | Para cada escenario, concebir su técnica de engaño: qué señuelos o engaños se usarán, con qué objetivo y efecto deseado en el atacante. Definir detalles de implementación y éxito. | Plan de engaño detallado: técnicas a usar, ubicación de señuelos, comportamiento esperado del adversario, métricas de éxito. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | |
|---|---|---|
| 5. Diseño de narrativa de engaño | Crear una historia o realidad falsa coherente y convincente para el adversario, guiando sus acciones hacia los objetivos del defensor. | Documento de narrativa de engaño: historia falsa, elementos clave, impacto psicológico deseado. |
| 6.Implementación y despliegue de los engaños | Poner en marcha los engaños en la red real o entorno controlado. Configurar honeypots, honeytokens, cuentas señuelo, etc. Asegurar monitoreo constante de estos elementos (*logging*/alertas). | Entorno de ciberengaño activo e integrado. Señuelos desplegados y monitoreados; listo para atrapar atacantes sin riesgo a sistemas reales. |
| 7. Monitoreo, análisis y retroalimentación con CTI | Observar y analizar las interacciones de atacantes con los señuelos. Extraer inteligencia (TTPs observadas, IOCs, errores del adversario).<br><br>Incorporar estas lecciones a la base de CTI y refinar tanto los engaños como otras defensas. | Informes de inteligencia post-engaño (qué se aprendió del atacante).<br><br>Actualización de CTI corporativo. Ajustes en estrategias de seguridad y engaño para próximas iteraciones. |

Tabla 1: Resumen de pasos

## Aplicabilidad mediante dinámica de taller

Un aspecto clave de esta propuesta es su orientación a la práctica colectiva. Si bien los pasos anteriormente descritos pueden ser ejecutados secuencialmente por un pequeño equipo interno, se sugiere implementarlos a través de talleres colaborativos que involucren a diferentes roles de la organización. Un formato de taller (*workshop*) estructurado permite aprovechar el conocimiento distribuido: analistas de CTI aportan datos de amenazas, personal de seguridad defensiva aporta conocimiento de la infraestructura y sus vulnerabilidades, miembros del *red team* brindan la perspectiva atacante, etc. La interacción de estos perfiles en un mismo espacio fomenta la creatividad y visión completa necesaria para diseñar engaños realistas y efectivos.

Se propone proceder con la estructura de dinámica grupal que se plantea a continuación, considerando que cada etapa puede realizarse en el mismo momento, o en momentos diferentes, según las limitaciones logísticas y organizacionales de cada entorno.

- En la fase de preparación (Paso 1), el equipo de inteligencia prepara y presenta al grupo un informe resumido de las amenazas y TTPs relevantes.
- En una sesión específica dedicada al Paso 2, todos discuten y mapean escenarios de ataque probables sobre un diagrama de la arquitectura de la empresa, realizando una tormenta de ideas sobre dónde encajar señuelos. Las herramientas visuales como pizarras, mapas de ATT&CK impresos, *post-it*, y otros, facilitan esta parte de la dinámica.
- Para el Paso 3 se reúne al grupo en sub-equipos creativos: cada sub-equipo toma uno de los escenarios priorizados y propone engaños concretos, usando plantillas que obliguen a responder preguntas clave (qué verá el atacante, qué creemos que pensará, qué hará, cómo lo mediremos).
- Para el Paso 4, los equipos analizan la complejidad y dificultad técnica de la implementación real de las ideas propuestas, ponderando ventajas y desventajas para que todos comprendan las ecuaciones costo/beneficio propias de esta clase de decisiones.
- Para el Paso 5, se detalla cómo se realizará la observación posterior, y cómo se incorporará al ciclo de inteligencia, preparando a los equipos para el momento de la obtención de resultados. Lógicamente los pasos 6 y 7 quedan fuera de la dinámica, dadas las limitaciones propias del modo taller.
- Al final del taller, se ponen en común los planes propuestos, refinándolos con la retroalimentación de todos. Este enfoque participativo garantiza alineación y compromiso: los responsables de distintas áreas contribuyen al plan y entienden su rol en la ejecución.

Como parte del aspecto educativo del taller, se sugiere adicionar un último paso, ya fuera de la metodología en sí, en la cual cada equipo realice una presentación ejecutiva para explicar y justificar sus decisiones a una posible dirección o *c-level* de la organización. Esto permite agregar un nivel de abstracción en el pensamiento en cuanto a los objetivos finales del proceso, y la toma de decisiones a nivel de negocios.

La literatura apoya este tipo de enfoque colaborativo. El estudio de Ashenden et al. demostró que un taller de *design thinking* con expertos produjo resultados tangibles como mapas operativos para implementar escenarios de engaño combinando dimensiones técnicas y cognitivas. Del mismo modo, en el contexto organizacional, un workshop bien facilitado puede realizarse en una sola jornada, o unos pocos encuentros. Esto busca eficientizar los esfuerzos comunes de diseño de operaciones de engaño, que pueden tomar semanas de intercambios fragmentados. Además, este formato sirve para capacitar al personal en el transcurso del proceso, ya que los participantes aprenden sobre CTI y ciberengaño mutuamente, a la vez que comprenden aspectos más sutiles del diseño de la operación, lo que incluye temas de infraestructura, sistemas, riesgos, y otros. Un beneficio adicional es que se pueden identificar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tempranamente obstáculos prácticos (por ejemplo, limitaciones para desplegar cierto honeypot en la red corporativa) cuando se tienen múltiples puntos de vista en la mesa, ajustando el plan antes de invertir y desperdiciar esfuerzo y encontrar más tarde el bloqueo.

Para implementar la metodología propuesta vía taller, se recomienda preparar material de apoyo (fichas de adversarios con sus TTPs, catálogos de técnicas de engaño posibles, etcétera), designar un moderador con experiencia en amenazas y engaño para guiar las discusiones, y documentar las decisiones en pizarras o herramientas colaborativas digitales. Este punto es relevante a la hora de mantener la atención de la audiencia, ya que no todos estarán igualmente implicados en todas las fases, e incluso en el mismo paso.

Al concluir el workshop, la organización tendrá no solo un plan de engaño diseñado, sino también un equipo de personas alineadas y comprometidas con la estrategia, lo cual aumenta la probabilidad de ejecución exitosa. Esta transferencia de conocimiento tácito en un entorno grupal es invaluable, pues convierte la metodología en algo vivo dentro de la cultura de seguridad de la empresa, más allá del documento técnico resultante.

Este enfoque e ideas han sido presentadas, compartidas y probadas ante audiencias diversas, incluyendo la realización de talleres con resultados efectivos facilitados por los autores tanto en Argentina como en EE.UU. y en Europa. Esto aplica tanto a entornos de entrenamiento corporativo, y organizaciones, como también al contexto de algunas de las conferencias más importantes del mundo en temas de ciberseguridad, entre las que se encuentran: *RSA Conference*, el evento de más grande y relevante de la industria de la ciberseguridad a nivel global; *FIRST Global Event*, el evento más importante del mundo en temáticas de respuesta ante incidentes y disciplinas relacionadas; *Honeynet Project Workshop*, el evento más especializado en la temática de ciberengaño a nivel mundial, y *Defcon*, el evento más importante del mundo para la comunidad.

Las distintas modalidades y formatos propias de cada evento o conferencia, permitieron probar diferentes duraciones y dinámicas, ante audiencias con diversos grados de especialización y de profundidad de conocimiento técnico en los temas requeridos. Si bien la información de dichos talleres está disponible públicamente, y puede verificarse, no se incluyen en este texto ni en las referencias, en virtud de evitar la atribución de autoría del presente trabajo, manteniendo la revisión en modalidad doble ciego.

## Limitaciones

Las limitaciones de esta propuesta radican principalmente en su rango de aplicabilidad, dado que, si bien simplifica el diseño de estrategias de ciberengaño, éste no deja de ser un proceso útil en entornos donde es técnica y económicamente viable, sin mencionar la necesidad de profesionales con el conocimiento para aprovecharlo.

Además, se asume la existencia de toda la información necesaria para avanzar de un paso al otro, y de las personas adecuadas para tomar las decisiones, lo cual no siempre se consigue, y puede terminar por degradar la calidad del resultado final.

Asimismo, contar con un profesional o grupo de profesionales que tengan el conocimiento y la experiencia para facilitar la dinámica, no debe considerarse un punto menor. En este sentido, es necesario un amplio conocimiento del tema en cuestión, en temáticas relacionadas, y en procesos organizacionales, para un mejor aprovechamiento de las dinámicas.

Otra limitación identificada es que la propuesta metodológica, aunque simple, depende de la integración dinámica y estandarizada de la inteligencia de amenazas. La incorporación continua de la CTI más reciente en las estrategias de engaño para mantener su relevancia no está estandarizada; cada organización o investigador tiende a aplicar criterios ad-hoc para decidir qué datos de CTI (indicadores, TTPs, etc.) deben inspirar qué señuelos, lo que conduce a enfoques fragmentados.

Finalmente, existe una atención limitada a las consideraciones multidisciplinarias y humanas en la planificación del engaño. Aunque la mayoría de la literatura técnica se enfoca en la infraestructura (redes, sistemas señuelo, análisis de malware), se ha prestado menos atención a cómo involucrar eficientemente a analistas de inteligencia, ingenieros de seguridad, equipos SOC e incluso personal no técnico en la concepción de escenarios de ciberengaño.

## Conclusiones

La integración de la inteligencia de amenazas (CTI) con las tácticas de ciberengaño representa un paradigma de defensa proactiva que aborda los desafíos de la ciberseguridad moderna cuando se tiene conocimiento del adversario. En este trabajo se revisaron los esfuerzos previos y marcos existentes que allanan el camino, hasta investigaciones académicas que exploran automatizaciones y metodologías creativas, para luego identificar las brechas referentes a la necesidad de simplificar sin trivializar la adopción de engaños informados por CTI, y de hacerlo de forma colaborativa.

La propuesta metodológica presentada, traza un puente entre ambos en un proceso destilado de siete pasos mínimos pero integrales, buscando ser una respuesta concreta a esas brechas, aunque no necesariamente debiera ser la única. Al enfocarse en lo esencial (perfilado de amenazas, mapeo de TTPs, diseño de engaños, implementación cuidadosa, y realimentación continua) el enfoque reduce la complejidad percibida de planificar y ejecutar operaciones de engaño. Esto es especialmente relevante dado que la complejidad ha sido un freno en su adopción. Un proceso conciso disminuye la barrera de entrada, permitiendo que más equipos de seguridad se animen a interactuar con el adversario en sus propios términos, en lugar de limitarse a

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



reaccionar pasivamente. A pesar de la simplificación en pasos, la metodología no sacrifica profundidad: cada etapa incorpora las mejores prácticas y lecciones de la literatura. En ese sentido, lo minimalista del enfoque reside en su estructuración, no en la superficialidad de su contenido.

Se destacó también la importancia de la aplicabilidad práctica mediante talleres. Más allá del valor teórico, una contribución buscada de este trabajo es enfatizar cómo la metodología puede llevarse a la práctica en forma de dinámicas grupales, rompiendo silos entre áreas de inteligencia, operaciones y demás equipos. Esto aborda otra brecha en el ámbito de la ciberseguridad, que es la desconexión humana y de procesos en la planificación de engaños. Al proponer un modelo de workshop multidisciplinario, se ofrece una hoja de ruta para que las organizaciones no solo sepan qué pasos seguir, sino cómo recorrerlos en equipo. La experiencia práctica sugiere que tal enfoque cooperativo potencia los resultados y cimenta una cultura de seguridad más adaptativa y centrada en el perfil del adversario.

Si bien conectar CTI con TTPs ha sido trivial en los últimos años dado el avance de las investigaciones, al introducir el ciberengaño como proceso adicional que se nutre de ambas, la ecuación deja de ser tan obvia. Por esto, un marco metodológico unificado permite cerrar el ciclo virtuoso de la defensa informada: conocer al enemigo, preparar el terreno para engañarlo, ejecutar la trampa y aprender aún más del enemigo en el proceso. Esto mejora para la parte defensora la relación defensor-atacante, dándole al primero la iniciativa estratégica.

La propuesta presentada, fundamentada en literatura académica y mejores prácticas, pretende servir de guía tanto para investigadores como para profesionales que deseen implementar activamente engaños basados en información de inteligencia.

Además, este enfoque se ha comprobado efectivo por medio de talleres organizados por los autores tanto en Argentina como en EE.UU. y en Europa, de los cuales surgió originalmente la iniciativa de volcar las ideas y experiencias en el presente texto.

Para finalizar, vale mencionar que consideramos este trabajo como cierre de un ciclo de más de tres años de investigación en temas de ciberengaño, durante los cuales encontramos repetidamente que los obstáculos a la adopción surgían de las brechas previamente mencionadas. Por tanto, nuestra experiencia de campo derivó en propuestas para abordar esta problemática, resultando en la publicación de varias investigaciones y herramientas de software relacionadas, que encuentran en el presente trabajo la última pieza, y su complemento final.

## Referencias

[1] Z. Lu, C. Wang, and S. Zhao, “Cyber Deception for Computer and Network Security: Survey and Challenges,” Jul. 28, 2020, *arXiv*: arXiv:2007.14497.

[2] M. Morovitz, G. Raymond, S. Barr, and L. Anderson, “MITRE Engage Framework,” Feb. 2022. [Online]. Available: https://engage.mitre.org

[3] M. M. Islam, A. Dutta, M. S. I. Sajid, E. Al-Shaer, J. Wei, and S. Farhang, “CHIMERA: Autonomous Planning and Orchestration for Malware Deception,” in *2021 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)*, Tempe, AZ, USA: IEEE, Oct. 2021, pp. 173–181. doi: 10.1109/CNS53000.2021.9705030.

[4] P. B. López, M. G. Pérez, and P. Nespoli, “Cyber Deception: State of the art, Trends and Open challenges,” 2024, *arXiv*. doi: 10.48550/ARXIV.2409.07194.

[5] S. Ahmed, A. B. M Mohaimenur Rahman, M. M. Alam, and M. S. Islam Sajid, “SPADE: Enhancing Adaptive Cyber Deception Strategies with Generative AI and Structured Prompt Engineering,” in *2025 IEEE 15th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, Las Vegas, NV, USA: IEEE, Jan. 2025, pp. 01007–01013. doi: 10.1109/CCWC62904.2025.10903748.

[6] D. Ashenden, R. Black, I. Reid, and S. Henderson, “Design Thinking for Cyber Deception,” presented at the Hawaii International Conference on System Sciences, 2021.

[7] A. Sayari, S. Rekhis, Y. Djemaiel, A. Mabrouk, and W. Mahouachi, “DECEPT-CTI: A Framework for Enhancing Cyber Deception Strategies through NLP-based Extraction of CTI from Unstructured Reports,” in *2024 22nd International Symposium on Network Computing and Applications (NCA)*, Bertinoro, Italy: IEEE, Oct. 2024, pp. 286–293. doi: 10.1109/NCA61908.2024.00049.

[8] N. N. Thilakarathne, M. S. A. Bakar, P. E. Abas, and H. Yassin, “A novel cyber threat intelligence platform for evaluating the risk associated with smart agriculture,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 3904, Jan. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-85320-8.

[9] N. H. Khoa, H. Do Hoang, K. Ngo-Khanh, P. T. Duy, and V.-H. Pham, “SDN-Based Cyber Deception Deployment for Proactive Defense Strategy Using Honey of Things and Cyber Threat Intelligence,” in *Intelligence of Things: Technologies and Applications*, vol. 188, Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 269–278.

[10] F. Pacheco and D. Staino, “Reinforcement of cyber deception strategies through simulated user behavior,” Mar. 24, 2025, *Preprints*. doi: 10.36227/techrxiv.174283192.29077680/v1.

[11] D. Liebowitz *et al.*, “Deception for Cyber Defence: Challenges and Opportunities,” in *2021 Third IEEE International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems and Applications (TPS-ISA)*, Atlanta, GA, USA: IEEE, Dec. 2021, pp. 173–182. doi: 10.1109/TPSISA52974.2021.00020.

[12] F. Pacheco and D. Staino, “Propuesta para implementación de estrategias minimalistas de ciberengaño,” 2024.

[13] T. Cuvelier, S. Ha, and M. Morovitz, “Elements of disinformation theory: cyber engagement via increasing adversary information consumption,” 2024, *arXiv*. doi: 10.48550/ARXIV.2410.14168.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Aplicación del antipatrón de vulnerabilidad: un reporte sobre tres casos de estudio

*Miguel Solinas[1], Leandro Antonelli[2], Gina Commisso[3], Ezequiel Gutierrez[4]*
*Emiliano Fabricio Suarez[5], Federico Cocimano[6];*
*[1,3] LARYC, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales – UNC,*
*[2] Lifia - Fac. de Informatica, Universidad Nacional de La Plata,*
*CAETI - Facultad de Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana,*
*[4, 5, 6] UTN Facultad Regional Córdoba,*
[1] miguel.solinas@unc.edu.ar, [2] lanto@lifia.info.unlp.edu.ar, [3] ginacommisso@unc.edu.ar ,
[4] ezequiel.tomas.gutierrez@unc.edu.ar, [5] emiliano.fabricio.suarez@unc.edu.ar, [6] federico.cocimano@unc.edu.ar

## Resumen

*Este trabajo presenta una definición del antipatrón de vulnerabilidades y los principales hallazgos de su aplicación como artefacto de software orientado a mejorar la seguridad en frameworks como Open Journal, Moodle y WordPress. Se enmarca en una aproximación metodológica que integra las arquitecturas de software, sus vulnerabilidades y los antipatrones como elementos clave para fortalecer la seguridad de los sistemas de software en general.*

## Introducción

Las vulnerabilidades conocidas y registradas en bases de datos como CVE de Mitre [1], NVD de NIST [2] o EUDV de Enisa [3] representan una fuente de conocimiento sobre cómo actúa un actor de amenazas al momento de aprovechar defectos en los sistemas. Una vulnerabilidad es un resultado no deseado, producto de un conjunto de acciones en los procesos de diseño, implementación y mantenimiento. La propuesta de este trabajo es acercar las experiencias y resultados obtenidos al vincular vulnerabilidades con antipatrones mediante el antipatrón de vulnerabilidades y utilizarlo como un elemento para acercar soluciones al problema de reiterados problemas de seguridad.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: primero se abordan las vulnerabilidades desde un punto de vista de la confiabilidad de los sistemas y se las vincula con el concepto de antipatrón. Luego recorre aspectos a tener en cuenta para la gestión de vulnerabilidades y su relación con las debilidades de software. A continuación, presenta antecedentes de investigación realizados para la construcción del antipatrón de vulnerabilidades y presenta una plantilla para su documentación. Describe las experiencias y resultados obtenidos documentando antipatrones de vulnerabilidades para tres frameworks conocidos: WordPress [4], Moodle [5] y Open Journal Systems (OJS) [6]. Por último, expone algunas conclusiones e investigaciones en las que se continúa trabajando.

## Vulnerabilidades, antipatrón de vulnerabilidades y debilidades

Las vulnerabilidades de software son defectos introducidos en el diseño, implementación o puesta en producción de un sistema de software. Esos defectos, expuestos a amenazas conducen a fallas que se manifiestan como errores y pueden explotarse para vulnerar políticas de seguridad. Estas violaciones tienen el potencial de causar pérdidas de propiedades y daños sobre activos de información de una organización. Los riesgos asociados a las vulnerabilidades en los sistemas de software son extremos: en 2017, el ataque de ransomware WannaCry [7] explotó una vulnerabilidad para infectar más de 200.000 computadoras en más de 150 países en un día, con daños totales de cientos de millones de dólares.

Producir una vulnerabilidad no es la consecuencia de un único defecto introducido por un desarrollador en un momento puntual, sino que son en la mayoría de los casos, una acumulación de decisiones que introducen elementos de código débiles, que en conjunto conforman la vulnerabilidad tal como luego es descubierta y corregida [8].

Las vulnerabilidades tienden a no aparecer todas al mismo tiempo en proyectos recién nacidos, sino que se vuelven más comunes cuando el proyecto crece, posiblemente debido al envejecimiento del software [9], esto también explica por qué las vulnerabilidades suelen afectar a los proyectos después de algún tiempo desde su inicio. Algo tan habitual como los cambios introducidos en los equipos de desarrollo afectados a un mismo proyecto tiene consecuencias en la producción de vulnerabilidades cuando se introducen nuevas funcionalidades o se mejoran funcionalidades existentes.

Respecto al nivel de experiencia de los desarrolladores, tanto principiantes como expertos suelen introducir la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



misma cantidad de defectos que conducen a una vulnerabilidad. Lo que está claro es que los errores suelen ser cometidos por desarrolladores con una mayor carga de trabajo [10].

Remover una vulnerabilidad es una tarea que puede demandar una media de nueve acciones distribuidas a lo largo de periodos superiores a un año. Habiendo casos extremos que demandaron varios años y miles de cambios en el código. Esto explica las permanentes actualizaciones que demanda el software que utilizamos. Es sorprendente la cantidad de actualizaciones que observamos año tras año para mejorar la seguridad, por ejemplo, de sistemas operativos de artefactos que usamos habitualmente: PC, notebooks y celulares.

Pero no todo es desventaja con las vulnerabilidades, también son una rica fuente de aprendizaje sobre defectos que no deberían repetirse al momento de construir un sistema de software en un determinado instante de tiempo. Recordemos que los patrones de diseño comunican buenas prácticas utilizadas para resolver un problema. También sabemos que los antipatrones comunican prácticas que conducen a resultados no deseados. Entonces, si miramos las vulnerabilidades como un resultado definitivamente no deseado, es posible documentar las acciones que conducen a una vulnerabilidad en términos de un antipatrón.

Un antipatrón es un artefacto de software que describe una solución común a un problema que genera consecuencias claramente negativas [11]. Puede ser el resultado de la falta de conocimiento o experiencia de un líder de proyecto o de un desarrollador al momento de resolver un tipo específico de problema. También puede ser la consecuencia de haber aplicado un patrón de diseño perfectamente válido en el contexto equivocado. Cuando un antipatrón se documenta adecuadamente, describe un conocimiento general y las causas principales que llevaron a ese conocimiento; también incluye síntomas que describen cómo reconocer las causas; sus consecuencias; y una solución refactorizada que describe cómo transformar el antipatrón en una situación saludable.

Los antipatrones son un método para mapear eficientemente una situación general con una clase específica de soluciones. La forma general del antipatrón proporciona una plantilla fácilmente identificable para la clase de problemas que aborda. Los síntomas asociados con el problema se exponen claramente, junto a las causas subyacentes típicas del problema. En conjunto los elementos de la plantilla constituyen un caso completo de la existencia de un antipatrón en particular.

Los antipatrones ofrecen una experiencia práctica para reconocer problemas recurrentes en la industria del software y una solución detallada para los problemas más comunes. Destacan los problemas más comunes que enfrenta la industria del software y proporcionan las herramientas para identificarlos y determinar sus causas subyacentes. Además, presentan un plan detallado para revertir estas causas subyacentes e implementar soluciones productivas. Describen eficazmente las medidas que se pueden tomar a varios niveles para mejorar el desarrollo de aplicaciones, el diseño de sistemas de software y la gestión eficaz de proyectos de software.

También proporcionan un vocabulario común para identificar problemas y analizar soluciones. Al igual que sus homólogos los patrones de diseño, definen un vocabulario de la industria, en este caso para los procesos e implementaciones defectuosas comunes dentro de las organizaciones. Un vocabulario de alto nivel simplifica la comunicación entre profesionales del software y permite una descripción concisa de conceptos de alto nivel.

Si consideramos las vulnerabilidades como un resultado definitivamente no deseado, es posible documentar las acciones que conducen a una vulnerabilidad en términos de un antipatrón. Un antipatrón de vulnerabilidades o VAP (vulnerability antipattern).

## Gestión de vulnerabilidades

No todas las vulnerabilidades impactan de igual manera en un sistema. El Common Vulnerability Scoring System (CVSS) [12] es el sistema reconocido y utilizado para evaluar la gravedad de las vulnerabilidades. En el proceso de evaluación de vulnerabilidades, las métricas del CVSS reflejan diferentes características como la dificultad que representa explotarla, el nivel de privilegio requerido, entre otras. Estas evaluaciones son realizadas por usuarios humanos y conducen a una puntuación numérica (CVSS Base Score) a partir de los valores de las métricas y una fórmula específica. Muchas empresas y organizaciones utilizan el CVSS como estándar del sector [13]. Por ejemplo, la base de datos de vulnerabilidades NVD proporciona puntuaciones del CVSS para cada vulnerabilidad.

La evaluación de la gravedad de las vulnerabilidades es un paso crucial en la gestión de vulnerabilidades orientada a su remediación, ya que ayuda a decidir si se deben tomar contramedidas y con qué rapidez deberían tomarse para prevenir la explotación.

La especificación CVSSv3.1 establece: “[...] es probable que diferentes perfiles de individuos califiquen las vulnerabilidades (por ejemplo, proveedores de software, analistas de boletines de vulnerabilidad, proveedores de productos de seguridad); sin embargo, tenga en cuenta que la calificación de vulnerabilidades está destinada a ser agnóstica para el individuo y su organización”. A pesar de que puedan existir diferencias en la valoración de una vulnerabilidad, se sigue reconociendo el valor de esta métrica para calificar vulnerabilidades.

Respecto a la gestión de vulnerabilidades, es habitual utilizar herramientas como Wazuh [14] ó ZAP [15] con las que se obtienen descripciones detalladas de las vulnerabilidades existentes en un activo de información y resúmenes ejecutivos muy útiles para la toma de decisiones de una organización. Decisiones orientadas a priorizar acciones y recursos a fin de minimizar riesgos. Habrá vulnerabilidades con las que se pueda convivir por su bajo riesgo de explotación y otras que deberá intentarse eliminar lo antes posible.

Es interesante mencionar que, si desplegamos un agente de Wazuh en un activo de información que no recibe actualizaciones periódicas de sus componentes, se observa que el número de vulnerabilidades críticas aumentan de forma permanente. ¿Por qué razón no se realizarían estas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



actualizaciones? Es una muy buena pregunta. Puede ocurrir que este tipo de mantenimiento no se contrate o que se rompa el vínculo comercial con el desarrollador y mientras el software anda, no se toca.

Respecto a esta última reflexión, las áreas de ciberseguridad alertan, pero los propietarios de los activos de información y por ende el riesgo, lo asumen otras áreas. Muy a pesar de las políticas de seguridad.

### Debilidades de software

La metalurgia [16] es una ciencia aplicada que estudia el comportamiento, estructura, propiedades y procesamiento de los metales y sus aleaciones. Sus orígenes se remontan al final del neolítico, entre 9.000 y 10.000 ac. En los albores de la civilización humana se usaban metales nativos como oro, plata y cobre en estado puro, hasta la metalurgia moderna, después del siglo XVIII con la elaboración de aleaciones complejas como aluminio, titanio y otros elementos.

Una descripción técnica de un material podría aportarnos que "...el acero de alto carbono presenta una baja tenacidad a bajas temperaturas, lo que puede conducir a una fractura frágil bajo cargas de impacto. Esta debilidad se agrava en presencia de microestructuras perlíticas finas y ausencia de tratamiento térmico adecuado, especialmente cuando el material opera por debajo de su temperatura de transición dúctil-frágil". Esta descripción ayudaría a tomar la decisión de no usar este tipo de acero para la construcción de estructuras complejas de una obra civil por lo riesgos en vidas humanas que representaría y consecuencias penales para el responsable técnico de la obra.

Salvando las diferencias respecto al software, que aún no llega a tener 100 años acompañando a la especie humana, una "debilidad" de software es una condición en un componente de su arquitectura, firmware, hardware o servicio que, en determinadas circunstancias, tiene el potencial de contribuir a la introducción de vulnerabilidades. En muchos casos, las condiciones de debilidad son introducidas por el desarrollador durante el desarrollo o mantenimiento del producto.

Si bien los desarrolladores pueden tener prácticas de programación muy diferentes, todos son capaces de introducir el mismo tipo común de debilidades, lo que genera vulnerabilidades en sus propios productos. La Lista CWE de Mitre [17] con sus taxonomías y esquemas de clasificación asociados son un lenguaje que permite identificar y describir estas debilidades en términos de "CWE".

A una CWE se le asigna un ID con el formato CWE-<ID>, donde <ID> es un número único elegido al momento de la asignación (p.ej., "CWE-798"). El CWE-ID va seguido de un nombre descriptivo para la debilidad (p.ej., "CWE-798: Use of Hard-coded Credentials"). Para que una debilidad reciba un CWE-ID y se publique en el sitio web de CWE, debe incluir la siguiente información obligatoria: un nombre, un resumen, una descripción extendida, modos de introducción, potenciales acciones para su mitigación, consecuencias comunes, plataformas donde aplica, ejemplos demostrativos, ejemplos observados, relaciones y referencias.

Las organizaciones e individuos utilizan CWE con diversas motivaciones. Por ejemplo, los desarrolladores de software y los investigadores de seguridad utilizan CWE como lenguaje común para debatir cómo eliminar o mitigar las vulnerabilidades de seguridad del software en la arquitectura, el diseño, el código y la implementación. Otras organizaciones utilizan CWE para evaluar herramientas de seguridad de software que buscan descubrir vulnerabilidades y también como un estándar de referencia común para sus iniciativas de identificación, mitigación y prevención de vulnerabilidades.

Un tercer elemento que complementa a CVE y CWE de la organización Mitre, es Common Attack Pattern Enumerations and Classifications CAPEC [20]. Es un componente que intenta comprender la dinámica de cómo opera el adversario. En ese sentido, CAPEC aporta una ayuda proporcionando un diccionario completo de patrones de ataque conocidos que emplean los adversarios para explotar las debilidades conocidas. Puede ser utilizado por analistas, desarrolladores, evaluadores y educadores para mejorar la comprensión de la comunidad y las defensas.

## Antecedentes del VAP

Documentar un Vulnerability Anti-Pattern (VAP) tiene como objetivo generar un conocimiento en términos de patrón de diseño de software, destinado al programador, a fin de facilitarle la toma de acciones preventivas para evitar vulnerabilidades conocidas [18][31]. Estas acciones se aplican a las diferentes etapas del ciclo de desarrollo de software: elicitación de requerimientos, diseño e implementación. Para construir este conocimiento se utilizan fuentes de información del ámbito de la ciberseguridad a fin de explicar "cómo" un agente de amenazas explota una vulnerabilidad. Un entendimiento que resulta esencial para mejorar la concientización del desarrollador sobre las consecuencias de reproducir vulnerabilidades conocidas.

En el proceso de construcción de un VAP se identifican tres procesos que se mencionan a continuación y luego se desarrollan brevemente.

1. Extracción de Conocimiento (PEC).
2. Suministro de Conocimiento (PSC).
3. Comunicación de Conocimiento (PCC).

### Extracción de Conocimiento

Recordemos que un VAP está asociado a una o más vulnerabilidades a través de una CWE. Una vulnerabilidad es un defecto que se ha puesto de manifiesto mediante su explotación y está registrado en bases de datos conocidas como CVE, NVD o EUVD. Luego, el Proceso de Extracción de Conocimiento (PEC) tiene que ver con extraer de fuentes apropiadas, información sobre la vulnerabilidad.

Es un proceso durante el cual se utilizan fuentes de conocimiento del dominio de la ciberseguridad [19] para extraer información dirigida a explicar el "cómo" un agente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de amenazas explotó una vulnerabilidad. El proceso de extracción de conocimiento también está orientado a permitir mapear el conocimiento captado sobre el Software Development Life Cycle (SDLC). La intención de este proceso es proporcionar a los desarrolladores un conocimiento de aplicación directa sobre las etapas del ciclo de vida de desarrollo donde se origina la vulnerabilidad, exponiendo las causas fundamentales que conducen a reproducirla. Así el PEC compromete dos subetapas. Por un lado, la extracción de conocimiento propiamente dicho, donde el resultado es una nomenclatura de vulnerabilidades y por otro lado el mapeo de conocimiento sobre el SDLC donde el resultado que se busca es un árbol de decisión que destaca un camino de daño al tomar decisiones incorrectas sobre las etapas del SDLC.

### Suministro de Conocimiento

Los productos del PEC deben ser expresados en forma de un VAP. El objetivo es encapsular el conocimiento recogido de la vulnerabilidad en el formato de la plantilla del VAP para poner a disposición del programador información sobre cómo fue explotada una vulnerabilidad conocida y recomendaciones que le permitan minimizar riesgo de reproducir la misma vulnerabilidad.

### Comunicación de Conocimiento

Es la actividad de comunicar el VAP a los desarrolladores de software a los fines de construir una conciencia sobre vulnerabilidades conocidas y poner a disposición acciones para mitigarles o no repetirlas. Es la etapa final de las investigaciones realizadas sobre antipatrón de vulnerabilidades.

### Plantilla de VAP

Para facilitar la comprensión y mitigación de vulnerabilidades por parte de desarrolladores, se diseñó una plantilla estructurada que permite representar antipatrones de forma clara, reutilizable y orientada a la acción. Esta plantilla tiene como objetivo ofrecer una visión holística del problema, desde su origen hasta su posible solución, integrando información técnica con un enfoque práctico.

La estructura está dividida en dos secciones principales: Antipatrón (problema) y Patrón (solución). La primera sección describe la vulnerabilidad desde la perspectiva de las malas prácticas o decisiones de diseño y desarrollo que conducen a fallos de seguridad. La segunda sección, correspondiente al patrón, presenta acciones de mitigación.

En la primera sección se incluyen campos como: nombre del antipatrón, sinónimos conocidos y etapa del SDLC en la que suele manifestarse. En la segunda sección, la información que se suministra se enfoca en guiar al desarrollador a través de buenas prácticas y estrategias para evitar repetir el error. Incluye: Acciones recomendadas dentro del SDLC, ejemplos reales de solución o refactorización segura, entre otros aspectos.

A continuación, se describen los elementos de la plantilla del VAP:

**Antipatrón**

1. **Nombre del Antipatrón:** Describe el nombre del antipatrón que representa el problema en el código o sistema.
2. **También conocido como:** Otros nombres o sinónimos utilizados para describir este antipatrón.
3. **Etapa del SDLC donde se expone:** Fase del ciclo de vida de desarrollo de software en la que la vulnerabilidad se hace visible.
4. **Mapping con CWE:** Relación del antipatrón con una entrada de CWE para identificar la vulnerabilidad en términos de ID y nombre.
5. **CVE Asociados a cada componente de la arquitectura:** Algunos CVE-ID relacionados.
6. **Ejemplo del antipatrón:** Enlaces a ejemplos de explotación de códigos vulnerables.
7. **Fuerzas desbalanceadas:** Decisiones de implementación que intentan cumplir con los requerimientos pero que crean la vulnerabilidad. Son a modo de ejemplo ya que los requerimientos pueden variar dependiendo la aplicación.
8. **Attack Pattern:** Identificación de CAPEC-ID.
9. **Problema:** Breve descripción del problema basado en la información del CWE.
10. **Consecuencia:** Consecuencias de la explotación. Cómo afecta a la integridad, confidencialidad y disponibilidad. Si afecta a los tres componentes o a alguno de ellos.

**Patrón**

1. **Soluciones en el SDLC:** Acciones a tener en cuenta para mitigar el problema. No siempre aparecen acciones para las tres etapas del SDLC. Estas acciones surgen de las recomendaciones de CWE y CAPEC.
2. **Solución del antipatrón:** Enlaces a ejemplos de solución.
3. **Patrones relacionados:** patrones de desarrollo de software que pueden ayudar a abordar el antipatrón, con soluciones específicas para tecnologías o lenguajes de programación.

## Experiencias realizadas con frameworks conocidos

Las arquitecturas de componentes son un enfoque clave en el diseño de sistemas de software modulares, reutilizables y escalables. Se trata de un estilo arquitectónico donde una aplicación se construye a partir de componentes independientes que interactúan entre sí a través de interfaces bien definidas. Cada componente encapsula una funcionalidad específica del sistema y en conjunto se pretende alcanzar objetivos de modularidad: separar funcionalidades en unidades autónomas; reutilización: usar componentes en múltiples sistemas; escalabilidad: agregar o reemplazar componentes fácilmente y mantenibilidad: cambios en un componente no afectan al resto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En particular, las arquitecturas de plugin son un tipo específico de arquitectura de componentes que permiten extender la funcionalidad de una aplicación sin modificar su núcleo. Este enfoque es ideal para construir sistemas flexibles, extensibles y adaptables, muy utilizado en entornos como IDEs, navegadores, sistemas operativos y frameworks de análisis en ciberseguridad. Una arquitectura de plugin permite que una aplicación base (también llamada core o host) cargue dinámicamente módulos externos (plugin) que amplían o modifican su comportamiento.

La evolución de estas arquitecturas desde los años 80 han permitido evitar el "software monolítico", adaptándose a las necesidades cambiantes y específicas de los usuarios, sin necesidad de crear versiones diferentes. También ha permitido a terceros agregar funcionalidad sin tener que modificar el código fuente del núcleo y facilitar el mantenimiento y la actualización del software (agregando/removiendo funcionalidades).

Así surgieron frameworks del tipo Content Management Systems (CMS) como WordPress, Joomla o Drupal, o del tipo Learning Management Systems (LMS) como Moodle que está diseñado para ser una herramienta genérica para usuarios (escuelas, empresas, blogs, gobiernos) con necesidades específicas.

El CMS WordPress, nacido en el 2004, desde sus primeras versiones fue diseñado con soporte para plugin. En el 2005, incluyó un sistema de hooks (acciones y filtros) que permitía a los plugin modificar el comportamiento sin tocar el core, lo que permitió el surgimiento de miles de plugin destinados a cubrir funcionalidades específicas tales como Search Engine Optimization (SEO), gestión de formularios, comercio electrónico, seguridad, etc.

El LMS Moodle, nacido en el 2002, ofreció desde sus inicios una estructura modular, pero recién integró formalmente un sistema de plugin en la versión Moodle 1.5 en el año 2005, con categorías como módulos de actividad (quizzes, foros), plugin de autenticación, tipos de preguntas, temas visuales, entre otros. En versiones posteriores, Moodle formalizó el modelo de plugin con instaladores automáticos, repositorios centralizados [21], dependencias, versiones y compatibilidad.

Open Journal Systems (OJS) es otro framework conocido en las universidades, que tiene una arquitectura modular y de componentes, diseñada para que se pueda extender, mantener y personalizar fácilmente. Nace en el 2001, escrito en PHPv4, con HTML y acceso directo a MySQL con una arquitectura inicial monolítica, escasa modularidad, interfaz muy básica y sin plugin. Ha tenido varias revisiones de su arquitectura, pero en la versión OJSv3.x (2016–presente) tuvo una reescritura profunda de su arquitectura para lograr mayor modularidad.

## VAPs de frameworks conocidos

En este punto hemos reunido los dos elementos que necesitamos. VAP y frameworks conocidos y utilizados habitualmente en las universidades. Nos interesó construir un registro de VAPs de vulnerabilidades de estos frameworks para experimentar sobre un método de remediación de vulnerabilidades específicas para frameworks específicos.

Como mencionamos arriba, el Proceso de Extracción de Conocimiento para la construcción de un VAP comienza con la recopilación de vulnerabilidades registradas en bases de datos conocidas como CVE, NVD o EUVD. Se utilizó la CVE API de NVD [22] para recuperar la totalidad de vulnerabilidades, en un determinado instante de tiempo, vinculadas a cada uno de los frameworks mencionados anteriormente.

Cada vulnerabilidad (CVE) tiene asociada una debilidad (CWE) y es la debilidad la que identifica al VAP. Es decir que cada VAP tiene asociada más de una vulnerabilidad.

Un aspecto importante para mencionar es la necesidad de curar el dataset que contiene registro de vulnerabilidades de más de diez años, dado que contiene, por ejemplo, CVE que sin ninguna CWE asociada o más de una.

Otro aspecto para tener en cuenta es el CVSS asociado a cada vulnerabilidad. En el análisis realizado es posible elegir el umbral mínimo a considerar a fin de recuperar por ejemplo vulnerabilidades con nivel de severidad alto (entre 7 y 8.9) y/o críticas (9 a 10).

**Caso 1: WordPress**

WordPress es el Content Management System (CMS) más utilizado a nivel global para la construcción de sitios web. Su facilidad de uso, rapidez de implementación y extensa comunidad que lo respalda lo convierten en una herramienta versátil y accesible para organizaciones de todos los tamaños. Sin embargo, estas mismas características que impulsan su popularidad también tienen el potencial de exponerlo a riesgos significativos en términos de seguridad.

Una de las propuestas más interesantes de WordPress es su personalización mediante plugin y themes de la comunidad de desarrolladores. El Plugin Developer Handbook [23] del año 2014, disponible en el espacio para desarrolladores, es un recurso para la comunidad de novatos o experimentados donde se encuentra todo lo relacionado con la construcción de plugin para este CMS.

Si el desarrollador requiere información sobre recomendaciones de cómo mejorar la seguridad de su plugin, el Plugin Developer Handbook lo deriva a un espacio que lo recibe con la siguiente pregunta: Congratulations, your code works! But is it safe? A partir de allí la propuesta es que el desarrollador del plugin auto construya una conciencia de los problemas de seguridad y el sitio le ayuda con una serie de extensas recomendaciones que incluyen temas como sanitización y validación de datos y aspectos sobre vulnerabilidades más comunes como SQL Injection, Cross Site Scripting y Cross-site Request Forgery.

Todos estos esfuerzos son insuficientes para contener la realidad de que WordPress es el CMS con mayor cantidad de vulnerabilidades en la comunidad de sistemas para la gestión de contenidos.

Al momento de realizar esta investigación, de los más de 110.000 plugins registrados en WPScan[24], 12.532 tienen al menos una vulnerabilidad. En cuanto a los themes, se identifican 972 vulnerables entre más de 29.000 disponibles. La diferencia entre soluciones gratuitas y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



premium es alarmante: 106.168 plugin gratuitos fueron reportados como vulnerables frente a solo 4.415 premium. Lo mismo ocurre con los temas: 28.563 vulnerabilidades en temas gratuitos, contra 1.005 en temas pagos.

Estas cifras reflejan un problema estructural en el ecosistema del CMS: el bajo control de calidad y revisión de seguridad en desarrollos gratuitos.

En el Proceso de Extracción de Conocimiento se obtuvieron 11.149 vulnerabilidades identificadas desde el 2005 hasta el 2025. De las cuales 3.071 tienen un grado de severidad entre alto y crítico y mapean sobre 92 CWE diferentes. Si hablamos de vulnerabilidades críticas, resultan 870 que mapean sobre 47 debilidades.

Enfrentamos el desafío de construir el conjunto de VAPs asociados a vulnerabilidades críticas, tomando las más frecuentes de acuerdo a Patchstack [25], un sitio especializado en la protección de WordPress que mantiene un registro de vulnerabilidades especializado en plugin y themes.

**Caso 2: Moodle**

Moodle es un Learning Management System (LMS), gratuito y de código abierto escrito en PHP y distribuido bajo la Licencia Pública General GNU. Se utiliza para el aprendizaje combinado, la educación a distancia, el aula invertida y otros esquemas de aprendizaje en línea en escuelas, universidades, lugares de trabajo y otros sectores. También es posible crear sitios web personalizados con cursos en línea y permite complementos de origen comunitario.

La primera versión de la herramienta apareció el 20 de agosto de 2002, a partir de allí han sido liberadas nuevas versiones de forma regular. Hasta octubre de 2020 tiene más de 240 millones de usuarios registrados distribuidos en 168.000 sitios web en todo el mundo y está traducido a más de 242 idiomas. La versión más reciente es la 5.0.2.

En la documentación que se ofrece para la gestión de la seguridad de un sitio de Moodle [26] se declara lo siguiente: “Nosotros tratamos los incidentes de seguridad en Moodle con mucha seriedad. A pesar de que dedicamos mucho tiempo en diseñar nuestro código para evitar tales problemas, es inevitable que, con un proyecto de esta magnitud, ocasionalmente se descubran nuevas vulnerabilidades.”

Es por ello que brinda información sobre el proceso a seguir para el caso de tener que reportar un problema de seguridad. Sugiere enviar los hallazgos a través de un formulario de envío de problemas de seguridad, que debe incluir instrucciones paso a paso de cómo fue expuesto el problema. El formulario está dividido en secciones a fin de ayudar a proporcionar toda la información necesaria para que se pueda solucionar el problema a la brevedad. Para ello cuentan con un programa de “bug crowding” donde expertos en detección de problemas de seguridad y “read team” garantizan una clasificación más eficiente de los problemas de seguridad entrantes y un proceso de divulgación responsable más ágil.

En el Proceso de Extracción de Conocimiento se obtuvieron 205 vulnerabilidades identificadas desde el 2015 hasta el 2025. De las cuales 50 tienen un grado de severidad entre alto y crítico y mapean sobre 21 CWE diferentes. Si hablamos de vulnerabilidades críticas, resulta un total de 11 que mapean sobre 6 debilidades.

**Caso 3: Open Journal**

Open Journal Systems (OJS) es una de las plataformas de código abierto más utilizadas a nivel mundial para la gestión integral del flujo editorial de revistas científicas, abarcando desde el envío inicial de manuscritos hasta su revisión por pares, edición, publicación en línea, diseminación e indexación en repositorios académicos como DOAJ [27], Crossref [28], Google Scholar [29] y otros. Desarrollado por el Public Knowledge Project (PKP), OJS es adoptado por miles de instituciones en todo el mundo, incluyendo universidades, centros de investigación y organismos gubernamentales. La plataforma destaca por su enfoque modular, su fuerte soporte multilingüe y su capacidad para ejecutar múltiples revistas en una sola instalación.

Uno de los pilares clave de OJS es su ecosistema de plugin, que permite extender o modificar funcionalidades del sistema: desde autenticación y exportación de metadatos, hasta el diseño de nuevas vistas, manejo de estadísticas o integración con servicios externos. Sin embargo, este modelo de extensibilidad, sumado al uso de versiones antiguas en contextos institucionales, representa una superficie de ataque relevante si no se aplican políticas adecuadas de seguridad y mantenimiento.

En el Proceso de Extracción de Conocimiento se obtuvieron 9 vulnerabilidades identificadas desde el 2023 hasta el 2025. De las cuales una tiene un grado de severidad entre alto y crítico y mapea sobre una única CWE. Si hablamos de vulnerabilidades críticas, resultan los mismos valores.

## Resultados: No caer en la misma vulnerabilidad dos veces

A fin de comparar los tres framework, presentamos los resultados obtenidos en la Tabla 1. En la columna “V” se muestra el total de vulnerabilidades para cada uno de los frameworks “F”. En la columna siguiente se consideran únicamente aquellas que tienen un valor de CVSS mayor o igual a 7 y menor o igual a 10 con la cantidad de CWE diferentes asociadas. En las dos columnas de la derecha se consideran las vulnerabilidades con CVSS mayor a 8.9 y menor o igual a 10. En ambas ocasiones, las vulnerabilidades se asocian a un número menor de debilidades. Para el caso de WordPress, la diferencia es de aproximadamente 1.8 órdenes de magnitud si consideramos vulnerabilidades con severidad alta y crítica. Y para el caso de considerar únicamente vulnerabilidades críticas la diferencia es de aproximadamente un orden de magnitud (0.953).

**Tabla 1. Valores comparados de vulnerabilidades y CWE**

| Framework | V | CVSS A/C | CWE | CVSS C | CWE |
|---|---|---|---|---|---|
| WordPress | 11.149 | 3.071 | 92 | 870 | 47 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Moodle | 205 | 50 | 21 | 11 | 6 |
| OJS | 9 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Un aspecto no esperado y que abrió una nueva línea de preguntas fue el hecho de que más del 90% de las CWE vinculadas a OJS y Moodle estaban contenidas en el conjunto de CWE vinculadas a WordPress. Con pequeñas variaciones respecto a la calificación de severidad para uno u otro framework, pero se repetían. Adjudicamos esta inclusión al hecho de que los tres frameworks están construidos utilizando alguna versión de PHP. Una evidencia de que la elección de un lenguaje de programación impacta como un perpetuador de cierto tipo de vulnerabilidades.

En las investigaciones realizadas sobre VAP identificaron las etapas de Extracción, Suministro y Comunicación de Conocimiento. Se aplicaron en este trabajo y se concluyó en la construcción de un conjunto de VAPs vinculados a tres frameworks conocidos: WordPress, Moodle y OJS. El objetivo es acercar al desarrollador el conocimiento sobre el modo en que actúa un actor de amenazas al aprovechar vulnerabilidades específicas para estos frameworks.

Iniciamos el proceso de Suministro o documentación de VAPs con las vulnerabilidades vinculadas a WordPress, por ser el que mayor cantidad de vulnerabilidades críticas presenta. Contrastamos las 870 identificadas con la información registrada en WPVulnerability [30]. Se trata de una base de datos de vulnerabilidades específicas de WordPress. El resultado fue un conjunto de 19 debilidades y por ende 19 VAPs. Continuamos con Moodle y documentamos los 6 VAPs asociados a las 6 CWE críticas y por último un único VAP asociado a la única CWE de OJS. Al momento de presentar este trabajo documentamos 26 VAPs que se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. VAPs documentados**

| # | Nombre | CWE-ID |
|---|---|---|
| 1 | Arbitrary File Deletion | CWE-22 |
| 2 | Arbitrary File Download | CWE-22 |
| 3 | Arbitrary File Upload | CWE-434 |
| 4 | Authorization Bypass Through User-Controlled Key | CWE-639 |
| 5 | Broken Access Control | CWE-284 |
| 6 | Cross Site Scripting | CWE-79 |
| 7 | Cross-Site Request Forgery | CWE-352 |
| 8 | CSV Injection | CWE-1236 |
| 9 | Data Exposure | CWE-200 |
| 10 | Improper Authentication | CWE-287 |
| 11 | Improper Credential Management | CWE-255 |
| 12 | Improper Input Validation | CWE-20 |
| 13 | Improper Link Resolution Before File Access (Link Following) | CWE-59 |
| 14 | Improper Use of Cryptography | CWE-310 (reem.por CWE-327, CWE-328, etc.) |
| 15 | Insecure Default Permissions | CWE-276 |
| 16 | Insufficient Access Controls | CWE-264 (reem.por CWE-284 y derivados) |
| 17 | Open Redirect (URL Redirection to Untrusted Site) | CWE-601 |
| 18 | Path Traversal | CWE-22 |
| 19 | PHP Object Injection | CWE-502 |
| 20 | Privilege Escalation | CWE-269 |
| 21 | Race Condition | CWE-362 |
| 22 | Reliance on File Name or Extension of Externally-Supplied File | CWE-646 |
| 23 | Remote Code Execution | CWE-94 |
| 24 | Remote/Local File Inclusion | CWE-98 |
| 25 | Server Side Request Forgery | CWE-918 |
| 26 | SQL Injection | CWE-89 |

Para concluir con el proceso de Comunicación de Conocimiento o consulta de los VAPs por parte de un usuario o aplicación, construimos una base de datos de tres tablas: una tabla genérica de antipatrones, una para WordPress, una para Moodle y otra para OJS. La columna de mayor interés es la de CWE ya que es la utilizada por nuestra API para emparejar la debilidad con su correspondiente antipatrón.

La API de AntiPatrones construída, fue desarrollada utilizando el lenguaje de programación python, por medio del framework FastAPI. La misma tiene cuatro routers: uno dedicado a los antipatrones y uno por cada framework (WordPress - Moodle - OJS). En su estructura definimos los siguientes endpoints:

AntiPatrones
+/antipatrones/antipatrones
+/antipatrones/antipatrones/por-scm
+/antipatrones/antipatrones/{id}
+/antipatrones/antipatrones/{id}
+/antipatrones/antipatrones/por-cwe/{cwe_id}

WordPress
+/wordpress/core/{wp_version}
+/wordpress/plugins
+/wordpress/plugins/{plugin_slug}
+/wordpress/plugins/{plugin_slug}/{plugin_version}
+/wordpress/themes/{theme_slug}/{theme_version}
+/wordpress/themes/{theme_slug}

Moodle
+/moodle/vulnerabilidades
+/moodle/plugin_o_core
+/moodle/plugin_o_core/version

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



OpenJournal
+/ojs/vulnerabilidades
+/ojs/plugin_o_core
+/ojs/plugin_o_core/version

En la Figura 3 se muestran los métodos asociados con los correspondientes endpoints.

Ejemplo de aplicación: Suponiendo que se está utilizando OJS versión 3.3.0, se puede ingresar 'core' y '3.3.0' en el endpoint/ojs/plugins_o_core/version, y el mismo devolverá información sobre antipatrones relacionados con dicha versión.




**Figura 3: Métodos de la API de VAPs.**

## Conclusiones

Las vulnerabilidades registradas en los últimos veinticinco años son la evidencia de defectos de los sistemas y puerta de entrada para diferentes tipos de ciberataques, pero también son una extensa fuente de conocimiento para remediar problemas de seguridad recurrentes. Uno de las dificultades para utilizar este conocimiento es la cantidad de vulnerabilidades conocidas que presentan ciertos sistemas y las vulnerabilidades nuevas que se reportan a diario.

Las vulnerabilidades conocidas, en general se resuelven con los procesos de emparchado periódico disponibles para cualquier aplicación. Esto es algo que no ocurre de forma habitual a pesar de que resulta más que evidente y se recomienda permanentemente. Entre otras razones, por el riesgo que representa la pérdida de funcionalidad posterior a la actualización. Esto conduce a convivir con aplicaciones vulnerables todo el tiempo.

La solución es la remediación de vulnerabilidades. Proceso que alerta, por ejemplo, sobre la existencia, severidad y acciones para minimizar el riesgo de explotación de una vulnerabilidad. Aquí la dificultad a enfrentar es que el profesional de la ingeniería de software no siempre está en conocimiento de los riesgos que representa una vulnerabilidad ni de las acciones para minimizarlos. En este punto el VAP, como una aproximación en términos de patrón de diseño, aporta el vector de información para el no especialista en ciberseguridad. Un instrumento para acercar recomendaciones prácticas para remediar una vulnerabilidad de forma definitiva o minimizar riesgos de explotación.

La pregunta por resolver es ¿ cómo mapear de forma automática la vulnerabilidad de un sistema con un VAP ?. La solución es un plugin que identifique las versiones del core, plugin y temas instalados; recupere las vulnerabilidades de fuentes como WPVulnerability y mapee esa información con VAPs para presentar al administrador las recomendaciones que contiene a fin de minimizar riesgos de explotación. Al presentar este trabajo estamos en la etapa de diseño y construcción de estos plugin, al menos para WordPress, Moodle y OJS.

## Referencias

[1] CVE Program; https://www.cve.org/; consultado en agosto de 2025.

[2] National Vulnerability Database; https://nvd.nist.gov/; consultado en agosto de 2025.

[3] European Union Vulnerability Database; https://euvd.enisa.europa.eu/; consultado en agosto de 2025.

[4] WordPress; https://wordpress.com/; consultado en agosto de 2025.

[5] Moodle; https://moodle.org/; consultado en agosto de 2025.

[6] Open Journal Systems; https://pkp.sfu.ca/software/ojs/; consultado en de agosto 2025.

[7] "Wannacry ransomware attack," https://en.wikipedia.org/wiki/WannaCry_ransomware_attack,Consultado en agosto de 2025.

[8] E. Iannone, R. Guadagni, F. Ferrucci, A. De Lucia and F. Palomba, "The Secret Life of Software Vulnerabilities: A Large-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Scale Empirical Study," in IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 49, no. 1, pp. 44-63, 1 Jan. 2023.

[9] D. L. Parnas, “Software aging,” in Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering. IEEE, 1994, pp. 279–287.

[10] M. Tufano, F. Palomba, G. Bavota, R. Oliveto, M. Di Penta, A. De Lucia, and D. Poshyvanyk, “When and why your code starts to smell bad (and whether the smells go away),” Transac- tions on Software Engineering, vol. 43, no. 11, pp. 1063–1088, 2017

[11] Brown, William J.; Malveau, Raphael C.; McCormick III, Hays W.; Mowbray, Thomas J.; “AntiPatterns, Refactoring Software, Architectures, and Projects in Crisis”. John Wiley & Sons, Inc. Canada 1998. ISBN_0−471−19713−0.

[12] Common Vulnerability Scoring System SIG; https://www.first.org/cvss/; consultado en agosto del 2025.

[13] J. Wunder, A. Kurtz, C. Eichenmuller, F. Gassmann and Z. Benenson, "Shedding Light on CVSS Scoring Inconsistencies: A User-Centric Study on Evaluating Widespread Security Vulnerabilities", in 2024 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), San Francisco, CA, USA, 2024, pp. 1102-1121.

[14] Wazuh; https://wazuh.com/; consultado en agosto del 2025.

[15] ZAP; https://www.zaproxy.org/; consultado en agosto del 2025.

[16] Metalurgia; https://es.wikipedia.org/wiki/Metalurgia; consultado en agosto del 2025.

[17] CWE; https://cwe.mitre.org/; consultado en agosto del 2025.

[18] Nafees, T.; “Addressing the Knowledge Transfer Problem in Secure Software Development Through Anti-Patterns”. PhD Thesis. Abertay University. Dundee, Escocia, UK. 2019. [19] Cybok, “The Cyber Security Body of Knowledge” https://cybok.org/, consultado en agosto del 2025.

[20] CAPEC; Common Attack Pattern Enumerations and Classifications; https://capec.mitre.org/; consultado en agosto del 2025.

[21] Moodle Plugins directory; https://moodle.org/plugins/; consultado en agosto del 2025.

[22] National Vulnerability Database CVE API; https://nvd.nist.gov/developers/vulnerabilities; consultado en agosto del 2025.

[23] Plugin Handbook; https://developer.wordpress.org/plugins/; consultado en agosto del 2025.

[24] WPScan; https://wpscan.com/; consultado en agosto 2025.

[25] Patchstack; https://patchstack.com/; consultado en agosto del 2025.

[26] Procedimientos de seguridad en Moodle, https://docs.moodle.org/all/es/Procedimientos_de_seguridad_en_Moodle, consultado en agosto del 2025.

[27] DOAJ, https://doaj.org/, consultado en agosto del 2025.

[28] Crossred, https://www.crossref.org/, consultado en agosto del 2025.

[29] Google Académico, https://scholar.google.com/, consultado en agosto del 2025.

[30] WPVulnerability Database API; https://www.wpvulnerability.com/, consultado en agosto del 2025.

[31] Nafees, T.; Coull, N; Ferguson, I., Sampson, A.; “Vulnerability Anti-Patterns: A Timeless Way to Capture Poor Software Practices (Vulnerabilities)”. PLoP® 2017 Conference Proceedings. 24rd Conference on Pattern Languages of Programs. Vancouver, Canadá, 2017.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Estudio de vulnerabilidades y robustez en WSO2 para una integración segura entre Web2 y Web3

*Miguel Méndez-Garabetti[2,3], Eduardo Piray[1,2,3], Leonardo Requena[1], Ricardo González[1,2], Guillermo Romero Arregin[2,3], Federico Schwemler[1], Pablo Bernal[1], Yago González[1], Matías Moll[1], Diego Fraser[1]*

*[1]Universidad Siglo 21, Córdoba, Argentina.*
*[2]Free and Open Source Software/Hardware Research Laboratory (FOSSHLab), Argentina.*
*[3]Departamento de Sistemas, Universidad CAECE, Mar del Plata, Argentina.*
mmendezgarabetti@ucaecemdp.edu.ar, edupiray@gmail.com, lprequena@gmail.com, eliangonzalez045@gmail.com, gromeroarregin@gmail.com, schwemlerfederico@gmail.com, bpabloso12@gmail.com, matiasermoll@gmail.com, diego1051@gmail.com, yago06_2000@hotmail.com

## Resumen

*El presente trabajo se centra en evaluar la solidez y robustez de gestores de identidad Web2 integrados en aplicaciones web frontend desplegadas en un servicio de nube y en un servidor privado virtual (VPS). Se realizaron auditorías de seguridad en el servicio WSO2 Identity Server en su versión 7.1.0. Realizamos pruebas de caja negra y caja gris de tipo red team que validaron la mitigación de vulnerabilidades críticas tales como: path traversal (CVE-2022-29464), XSS almacenado (CVE-2024-3509) y denegación de servicio por atributos repetidos (WSO2-2023-2678). Otras vulnerabilidades analizadas y que se confirmó mitigación fueron CVE-2024-6914, CVE-2024-7097, CVE-2024-8122, CVE-2024-7487 y CVE-2024-3509. Los análisis demostraron que WSO2 en su versión 7.1.0 implementa defensas efectivas mediante sanitización de inputs, limitación de parámetros y restricción de endpoints sensibles. No obstante, identificamos ciertos riesgos como la exposición pública de la consola administrativa y la falta de mecanismos anti fuerza bruta. La integración con Cloudflare, es decir, los servicios de arquitectura web, redujo los vectores de ataque directos. Estos hallazgos proporcionan métricas comparativas útiles para el posterior desarrollo de un modelo de identidad adaptativa administrada por inteligencia artificial. Este modelo integrará Keycloak, otro gestor de identidades de código abierto, WSO2 y protocolos descentralizados (Web 3.0). Finalmente se concluye que la madurez de soluciones Web 2.0 mediante robustez de infraestructura y capas de seguridad es fundamental para garantizar protección sin degradar la experiencia del usuario en sistemas gestores de identidad futuros que combinen IA y blockchain.*

## 1. Introducción

Una apropiada Gestión de Identidad y Acceso (IAM Identity Access Management por sus siglas en inglés) es crucial en todos los sistemas informáticos, más si estos están conectados a la red Internet o a redes potencialmente inseguras. Por esta razón el equipo de trabajo ha puesto en producción entornos web integrados con gestores de identidad para evaluar el nivel de seguridad de estos entornos frente a posibles ataques de agentes maliciosos.

Se han investigado, marcos de trabajo, estándares y bases de datos que tengan registros de vulnerabilidades para tener una base científica sólida. Una de las bases de datos utilizadas es la de Vulnerabilidades y Exposiciones Comunes (CVE Common Vulnerabilities and Exposures). CVE contiene una lista de entradas de vulnerabilidades de ciberseguridad conocidas públicamente, junto con información de identificación, una descripción y al menos una referencia pública. Otras bases de datos que cabe mencionar son ISS X-Force, Symantec/SecurityFocus BID, la Base de Datos de Vulnerabilidades de Código Abierto (OSVDB) y la Base de Datos Nacional de Vulnerabilidades (NVD). Estas utilidades se aplican con éxito en el modelado de amenazas; por ejemplo, la puntuación CVSS ayuda a los investigadores de seguridad a generar clasificaciones de riesgo fiables sobre vulnerabilidades, lo que les permite alertar al público sobre posibles riesgos de software sin parchear y garantizar que los proveedores de software independiente (ISV) traten los exploits según su importancia. Otro aspecto importante en este punto es cómo los investigadores de seguridad generan una lista de CVE para el sistema que evalúan. Esta tarea la realizan escáneres de vulnerabilidades como Nikto, Nessus y otras herramientas como Nmap, que se utiliza como escáner de red y herramienta de detección de hosts. Estos escáneres se refieren principalmente a aplicaciones web [1]. La principal referencia tomada será la de CVE.

Por otro lado, uno de los proveedores de identidad elegidos, es WSO2 Identity Server. La suite WSO2 opera sobre una sólida base de gestión integrada de identidades y accesos, donde los conceptos de tenencia, roles de usuario y políticas de acceso son pilares fundamentales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Comprender estos elementos y su interacción es fundamental para establecer mecanismos de gobernanza seguros, escalables y consistentes en toda la plataforma [2]. Más adelante en el artículo se darán las razones de esta elección.

El otro proveedor de identidad elegido es Keycloak. Keycloak es un servidor de autenticación lanzado en 2014, escrito en JAVA, de código abierto y con licencia Apache 2, que ofrece servicios y control de acceso para aplicaciones web. Esto significa que las aplicaciones no necesitan gestionar páginas de inicio de sesión, aprobación o registro de clientes. De esta forma, los clientes validan el servidor Keycloak y no tienen que verificar con otras aplicaciones. Utiliza la tecnología SSO, se basa en convenciones estándar y es compatible con OpenID Connect, OAuth 2.0, y SAML. La configuración SSO admite múltiples dominios (espacios). Además, ofrece una Interfaz de Proveedor de Servicios (SPI) que permite crear e incluir un autenticador de proveedor personalizado, ampliando así su funcionalidad. Keycloak cuenta con una interfaz de usuario excepcional que ofrece gestión de usuarios, gestión de autenticación, entre otras funciones. Keycloak permite añadir nuevas páginas a la Consola de Administración de Cuentas de usuario sin modificar las categorías previamente definidas. Otro beneficio de Keycloak es que cuenta con actualizaciones constantes y una red funcional que ayuda a resolver problemas que surgen [3]. Más adelante en el artículo se darán las razones de esta elección.

Estos son los estándares y los proveedores de identidad con los que el equipo de trabajo ha basado y enfocado las pruebas de ciberseguridad.

Este trabajo está enmarcado en un proyecto de investigación titulado Estudio de Técnicas de Identidad Digital Hacia la Web 3.0. Este proyecto plantea tres objetivos principales:

1. Medir y ponderar el rendimiento y niveles de seguridad de las IAM implementadas y puesta en producción. Definir el grado de protección que ofrecen a la identidad del usuario y cómo influyen en la experiencia de usuario.
2. Concluir si el uso de tecnologías vinculadas a la Web3 mejora o no los niveles de seguridad en aplicaciones web respecto a tecnologías vinculadas a la Web2.
3. Determinar uno o más conjuntos de mecanismos de seguridad para autenticación en aplicaciones web y que dichos conjuntos puedan ser asignados a los usuarios dinámicamente mediante inteligencia artificial. Y medir si dichos sistemas significan una mejora a la seguridad respecto a sistemas que no utilizan inteligencia artificial.

El presente artículo hace foco en tratar de alcanzar en el mayor grado posible el objetivo número uno. Como así también se hará referencia al segundo objetivo y el grado de alcance de dicho objetivo.

## 2. Antecedentes y contexto

El presente artículo está enmarcado en la ciberseguridad, concretamente en la gestión de identidad y acceso en aplicaciones web. Se viene realizando un trabajo que ha permitido generar algunos resultados preliminares. En [1] y [2] se pueden encontrar referencias del contexto y los estudios y trabajos previos ya realizados. En líneas generales, se comenzó con un estudio de protocolos, marcos de trabajos y estándares referidos a la gestión de identidad y acceso en el ámbito de Web2. Luego se procedió a preparar entornos controlados de desarrollo para familiarizarnos con los protocolos y posibles vulnerabilidades de seguridad. Incluso se realizaron pruebas básicas de tipo read team con herramientas como BurpSuite en base a la matriz de Mitre ATT&CK. De la matriz se tomó como referencia la columna de táctica Credential Access. Con la herramienta BurpSuite se intentaron replicar técnicas tales como: Brute Force, Forge Web Credentials, Web Cookies y Steal Application Access Token. Esto nos permitió establecer una base de conocimientos para avanzar en las investigaciones, e ir creciendo en experiencia hasta poder realizar estudios más específicos que puedan arrojar resultados concretos. Actualmente se cuentan con entornos en producción operando en la nube. Estos entornos se conforman de aplicaciones web frontend tipo sample con la librería React integradas y configuradas con los proveedores de identidad Keycloak y WSO2.

### 2.1. ¿Por qué se utilizaron los gestores de identidad de acceso mencionados?

La elección de WSO2, siendo el eje central del presente artículo, y considerando también a Keycloak, se fundamentó en el hecho de que son proveedores de identidad de código abierto, muy utilizados en el mercado, y que disponen de buena documentación para su puesta en marcha y operación. Además, en ambos proveedores existe gran cantidad de reportes y avisos de vulnerabilidades de seguridad que se comparten a la comunidad. Esto último fue clave para inclinarse por dichas tecnologías. En el presente artículo se expone el trabajo hecho para estudiar y probar vulnerabilidades en WSO2 Identity Server.

### 2.2. Entornos en producción para las pruebas

Se disponen de dos entornos operativos en la nube. El entorno para WSO2 se conforma de una VPS (Virtual Private Server) en el proveedor de alojamiento web Hostinger. En la VPS se desplegaron las siguientes

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



imágenes de contenedores de Docker: nginx como reverse proxy, wso2-server, wso2-server-front y postgres como sistema de bases de datos. La URL de la consola de administración de WSO2 es https://iam-vps.fjs.ar/console, y la URL de la aplicación web React es https://iam-vps-front.fjs.ar/. Por otro lado, el entorno para Keycloak está alojado en el servicio de Render. En dicho proveedor se alojan tres servicios: la aplicación web React, el proveedor de identidad Keycloak en su versión 20.0.3 y una base de datos PostgreSQL externa vinculada a Keycloak. Keycloak tiene por dominio: https://one-keycloak-main.onrender.com, y la aplicación React tiene por dominio https://four-react-keycloak.onrender.com/.

## 3. Selección de vulnerabilidades y descripción de las pruebas

En esta sección se describe cómo se han seleccionado e identificado vulnerabilidades en el gestor de identidad de WSO2, más precisamente en el software WSO2 Identity Server.

Las vulnerabilidades se analizaron teniendo como base el estándar de criticidad CVSS (Common Vulnerability Scoring System), y se seleccionaron teniendo en cuenta el programa CVE (Common Vulnerabilities and Exposures). Este programa CVE identifica los incidentes de la siguiente manera: CVE-YYYY-NNNN (YYYY indica el año y NNNN el número de vulnerabilidad). Más concretamente, la suite de herramientas de WSO2 ofrece un conjunto de anuncios de seguridad disponibles en su sitio web que se alinea con el programa CVE [4] . Allí se destacan avisos de seguridad de WSO2, boletines de seguridad en la nube, justificaciones de CVE y aclaraciones sobre incidentes. También WSO2 ofrece un listado centralizado de avisos de seguridad agrupados por año para todas herramientas de la suite [5].

Se trabajó en dos etapas. En la primera etapa se buscó identificar vulnerabilidades directamente alineadas con los avisos publicados por el propio equipo de WSO2. Para la elección de los avisos de vulnerabilidades se siguieron los siguientes criterios de selección:

- Seleccionar los avisos vinculados a WSO2 Identity Server más recientes en el tiempo. Año 2024 y lo que va de 2025.
- Que el aviso indique comprometida la versión bajo estudio, la 7.1.0.
- Alto impacto (CVSS mayor o igual 6.0, compromiso de identidad/ejecución remota). Compromiso de cuentas e identidad. O de impacto medio pero directamente relacionado con la gestión de identidad y acceso.
- Factibilidad técnica: prueba en caja negra o caja gris con herramientas disponibles en el sistema operativo de Kali Linux (curl, Burp Suite).
- Bajo riesgo operacional: Pruebas no destructivas.
- Ir filtrando pruebas hasta alcanzar un límite manejable de avisos. En la Tabla 1 se observa el listado de avisos que fueron probados. Ejecutar la mayor cantidad de pruebas posibles con los medios disponibles.

**Tabla 1. Listado de avisos**

| CVE | Advisory WSO2 | Descripción |
|---|---|---|
| CVE-2024-6914 | WSO2-2024-3561 | Apropiación de cuentas |
| CVE-2024-7097 | WSO2-2024-3574 | Registro no autorizado |
| CVE-2024-8122 | WSO2-2024-3149 | Fuerza bruta |
| CVE-2024-7487 | WSO2-2024-3348 | Omisión de autenticación |
| CVE-2024-3509 | WSO2-2024-2701 | Cross-Site Scripting(XS |

En el presente artículo se presenta un detalle de las pruebas vinculadas a los cinco avisos presentados en la Tabla 1. Estas pruebas arrojaron resultados concretos. Se trabajaron con otros avisos, pero las pruebas llevadas a cabo en los mismos no arrojaron resultados comprobables ni significativos.

En la segunda etapa se buscó plantear pruebas de carácter más general, no directamente alineadas con los avisos propios de WSO2. Pruebas que permitan dar indicios del grado de fortaleza o hardering del gestor de identidad, frente a posibles ataques o eventos no esperados que afecten la resistencia y resiliencia de WSO2. Esta segunda etapa de prueba no fue exhaustiva, ni pretendió ser ambiciosa, sino que tuvo por objetivo dar un panorama de cómo se podría minimizar las posibles vías de entrada para los atacantes en este tipo de herramientas. En el presente artículo se muestra la ejecución de dos pruebas con sus respectivos resultados. La primera prueba se refiere a la configuración por defecto de superficies de ataque. Se tomó como base científica el CVE-2022-29464, el cual se refiere a la carga de archivos sin restricciones, lo que resulta en la ejecución remota de código [6]. La segunda se basa en una prueba de resiliencia a DoS (Denegación de Servicios).

En cada etapa, el servidor de C2 (Comando y Control) es una máquina virtual bajo el sistema operativo Kali Linux. Se operó con VPN del proveedor Mullvad (Ver Figura 1) bajo el protocolo WireGuard. WireGuard es una VPN simple, rápida y moderna que utiliza criptografía de vanguardia. Su objetivo es ser más rápida , simple , ágil y útil que IPsec. Su objetivo es ser considerablemente más eficiente que OpenVPN. WireGuard está diseñada como una VPN de propósito general para funcionar tanto en interfaces integradas como en supercomputadoras, ideal para diversas circunstancias. Inicialmente lanzada para el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026

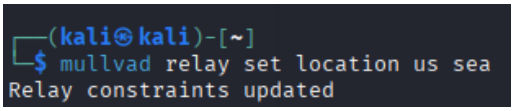


kernel de Linux, ahora es multiplataforma (Windows, macOS, BSD, iOS, Android). Actualmente se encuentra en desarrollo, pero ya podría considerarse la solución VPN más segura, fácil de usar y sencilla del sector [7]. Además se realizaron algunas configuraciones avanzadas de red en en el C2 con Kali Linux, tales como:

- Prevenir fugas de DNS, evitando que nuestro proveedor de internet vea consultas DNS y tráfico.
- Configurar un bloqueo para que todo tráfico de salida por eth0 no vaya a redes 10.x.x.x (donde opera Mullvad VPN). Forzar que todo tráfico pase por la VPN, evitando fugas si la conexión VPN falla.
- Sin una VPN de Mullvad activa, no hay salida a Internet.

Por otro lado, algunas de las pruebas se ejecutaron internamente accediendo por SSH a la consola de Hostinger. Además, el equipo de investigación se contactó con los proveedores de servicios para dar aviso de las pruebas a realizar.

**Figura 1. VPN Mullvad desde Kali Linux**



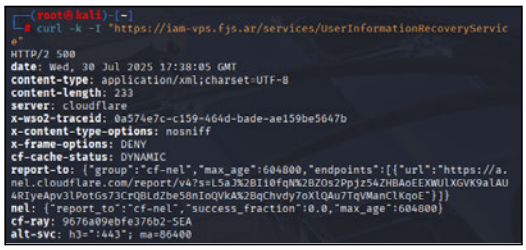

## 4. Desarrollo y ejecución de las pruebas

En esta sección y en las subsecciones se describe cómo se han diseñado, ejecutado y obtenido resultados de las pruebas efectuadas, considerando las dos etapas.

### 4.1. Primera etapa: CVE-2024-6914

Esta vulnerabilidad solo se puede explotar mediante los servicios de administración SOAP expuestos a través de la ruta de contexto /services del producto WSO2. Al explotar esta vulnerabilidad, un atacante podría restablecer la contraseña de cualquier cuenta de usuario. Esto le permitiría tomar el control de las cuentas objetivo, incluidas aquellas con privilegios elevados, como el usuario administrador, lo que representa un riesgo de seguridad significativo. Gravedad: crítica. Puntuación CVSS: 9,8. La prueba consistió en confirmar si el servicio vulnerable está expuesto externamente. En la Figura 2 se observa la petición hecha desde Kali Linux.

**Figura 2. Petición por consola desde Kali Linux**




La respuesta fue un HTTP/2 500. Se realizó una segunda petición, añadiendo el parámetros ?wsdl. Este es un parámetro que solicita el archivo WSDL (Web Services Description Language), el cual describe la interfaz del servicio SOAP (operaciones, parámetros, tipos de datos). La respuesta fue un HTTP/2 403. Ambas respuestas confirman la mitigación efectiva de la vulnerabilidad en WSO2 Identity Server. El endpoint crítico (/UserInformationRecoveryService) responde con HTTP 500 ante solicitudes SOAP malformadas/no autenticadas. Esto es un comportamiento esperado luego de un post-parche que previene el restablecimiento no autorizado de contraseñas. También, el acceso al WSDL está bloqueado (HTTP 403), reduciendo la superficie de ataque.

### 4.2. Primera etapa: CVE-2024-7097

El servicio de administración SOAP en WSO2 tiene una vulnerabilidad de seguridad que permite la creación de nuevas cuentas de usuario independientemente de tener credenciales válidas. Los actores maliciosos podrían explotar esta vulnerabilidad para crear múltiples usuarios con privilegios bajos y obtener acceso no autorizado al sistema. Esto también podría usarse para saturar el sistema creando continuamente estos usuarios.

Desde Kali Linux por consola, se ejecutaron comandos y peticiones POST para intentar crear nuevos usuarios. Al usar credenciales válidas de administrador, se creó el usuario con normalidad. La petición hecha fue:

```
curl -k -u usuario_admin:password_admin -X POST "https://iam-vps.fjs.ar/services/UserAdmin" -H "Content-Type: text/xml" -H "SOAPAction: urn:addUser" -d '<soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"><soapenv:Body><ser:addUser xmlns:ser="http://org.apache.axis2/xsd"><userName>test_user</userName><password>P@ssw0rd123!</password><roles>Internal/everyone</roles></ser:addUser></soapenv:Body></soapenv:Envelope>'
```

La respuesta fue:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"><soapenv:Body><ns:addUserResponse xmlns:ns="http://org.apache.axis2/xsd"><ns:return xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:nil="true"/></ns:addUserResponse></soapenv:Body></soapenv:Envelope>

El usuario test_user fue creado exitosamente con el rol Internal/everyone. Esto demuestra que el endpoint /services/UserAdmin funciona correctamente cuando se usan credenciales válidas.

Al intentar crear usuarios sin tener credenciales, la respuesta fue HTTP 403 (Forbidden), lo que indicó que no fue posible crear el usuario. La respuesta fue:

<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"><soapenv:Body><soapenv:Fault xmlns:axis2ns11="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"><faultcode>axis2ns11:50978</faultcode><faultstring>Access Denied.</faultstring><detail/></soapenv:Fault></soapenv:Body></soapenv:Envelope>

Se hizo otra prueba intentando crear un nuevo usuario utilizando credenciales de un usuario sin privilegios de administrador, y el resultado fue negativo: no se pudo crear el usuario desde un usuario sin privilegios de administrador. Confirmando que la vulnerabilidad fue mitigada.

### 4.3. Primera etapa: CVE-2024-8122

Esta es una vulnerabilidad de fuerza bruta debido a OTP (one time password) de SMS que no vencen. La falta de un plazo de caducidad predeterminado para las OTP de SMS en MFA (Multi Factor Authentication) permite que permanezcan válidas indefinidamente si no se utilizan, lo que supone un riesgo de seguridad. Esta vulnerabilidad podría ser explotada por un actor malicioso para realizar ataques de fuerza bruta. Para la prueba se creó un usuario denominado test_otp_user. En WSO2 se activó el flujo con segundo factor por SMS. Se contrató el servicio de Twilio como SMS provider. Se configuraron los datos de Account SID, el Auth Token y el Sender ID. El Account SID y el Auth Token se obtienen desde la consola de Twilio: console.twilio.com. Mientras que el Sender ID es un número telefónico provisto por Twilio. Tal como se muestra en las Figuras 3 y 4:

**Figura 3. Configuración de SMS Provider**

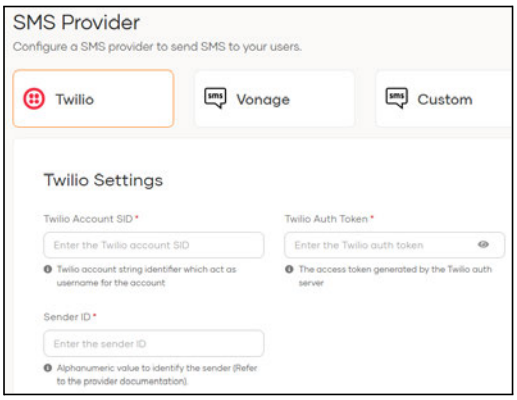
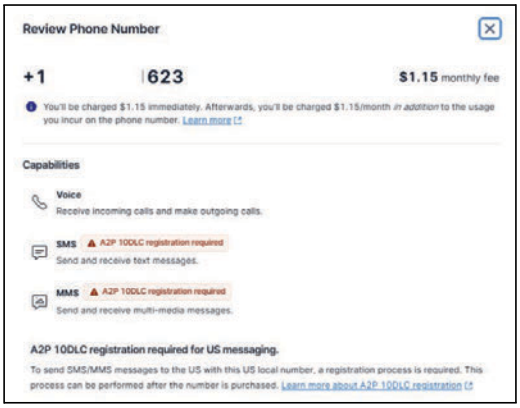



**Figura 4. Número telefónico**




Los hallazgos de las pruebas fueron:

- Prueba manual con OTP válido: Se inició sesión exitosamente con un OTP fresco.
- Prueba con OTP reutilizado en ventana incógnita: Después de un tiempo, el mismo OTP fue rechazado por haber expirado.
- Prueba con espera de siete minutos: Al ingresar el OTP después de siete minutos, se indicó que estaba expirado.

Para la versión 7.1.0 de WSO2 Identity Server, la vulnerabilidad ha sido mitigada gracias a la expiración configurada de OTP. Esto es consistente con los advisories de WSO2, que indican que las versiones afectadas (como 6.1.0) requieren parches, pero en la versión 7.1.0 ya incluye medidas de seguridad adecuadas.

Por otro lado, se realizaron pruebas del mismo tipo aplicando como segundo factor códigos enviados por email. Los resultados fueron negativos, confirmando la mitigación de la vulnerabilidad.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 4.4. Primera etapa: CVE-2024-7487

Este CVE se refiere a la omisión de la autenticación nativa de la aplicación. Debido a una implementación incorrecta, la autenticación nativa de la aplicación puede omitirse cuando se envía un objeto no válido en las solicitudes OAuth. Específicamente en el flujo de client_credentials. Esto compromete la integridad del mecanismo de verificación del cliente. Al aprovechar esta vulnerabilidad, los actores maliciosos podrían comprometer la integridad del mecanismo de verificación del cliente.

Para probar esta vulnerabilidad, se llevó a cabo una prueba básica de bypass. Se envió una solicitud con un objeto JSON inválido al endpoint de token. Se buscó eludir la autenticación enviando datos malformados. La prueba consistió en enviar una solicitud OAuth con un objeto intencionalmente malformado en JSON (client_id como array numérico). La petición fue de tipo POST, enviada al endpoint o punto de generación de tokens OAuth, el cual es /oauth2/token. El comando fue:

```
curl -k -X POST
"https://iam-vps.fjs.ar/oauth2/token" \
  -H "Content-Type: application/json" \
  -d '{"grant_type":
"client_credentials", "client_id":
[123]}' -v
```

La respuesta, en resumen, fue la siguiente:

```
HTTP/2 401
{"error_description":"Client ID not
found in the
request.","error":"invalid_client"}
```

La prueba confirmó que el servidor rechaza solicitudes con objetos inválidos en el flujo OAuth. Al enviar un client_id como array numérico, el sistema respondió con HTTP 401 (Unauthorized) y el mensaje 'Client ID not found in the request'', demostrando que:

- La petición (request) no ha sido ejecutada porque carece de credenciales válidas de autenticación para el recurso solicitado.
- La validación de tipos de datos está implementada
- No se producen tokens de acceso en estas condiciones

Como conclusión, podemos decir que el parche para la vulnerabilidad WSO2-2024-3348/CVE-2024-7487 está activo y es efectivo.

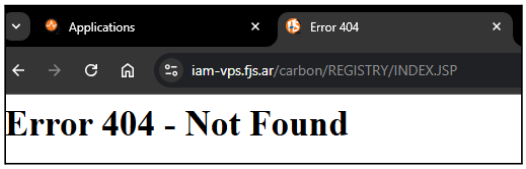
### 4.5. Primera etapa: CVE-2024-3509

Esta es una posible vulnerabilidad de secuencias de comandos entre sitios (Cross-Site Scripting, XSS) almacenada en la consola de administración. Debido a la falta de validación de entrada, se podría realizar un ataque XSS almacenado a través de la página del editor de texto enriquecido en la sección de registro (Registry) de la consola de administración de WSO2.

Para explotar esta vulnerabilidad, el actor malicioso debe tener una cuenta de usuario válida con acceso de administrador a la Consola de Administración y poder acceder a ella. Si logra obtener dicho acceso, podría robar datos del usuario y realizar acciones no autorizadas en su nombre. Sin embargo, dado que todas las cookies sensibles de sesión están configuradas con el indicador httpOnly y protegidas, el secuestro de sesión o ataques similares no serían posibles [8].

Para hacer la prueba se intentó un acceso alternativo al Registry. Se inició sesión en la consola de gestión con la credenciales de administrador, en la URL https://iam-vps.fjs.ar/carbon/ y se intentó ir directamente a la URL https://iam-vps.fjs.ar/carbon/registry/index.jsp o similar. Se recibieron siempre errores 404, indicando que al menos, estas rutas fueron eliminadas. En la figura 5 se observa un ejemplo.

**Figura 5. Ruta eliminada**




Por otra parte, se hizo una prueba adicional para fortalecer el análisis. Se ejecutó el siguiente comando curl desde Kali Linux:

```
curl -k -X POST
'https://iam-vps.fjs.ar/carbon/registry
/add-text-resource.jsp' \
-H 'Cookie: JSESSIONID=XXXXXXXXXXXXXX'
\
-d
'path=/_system/config&mediaType=text/ht
ml&content=<img src=x
onerror=alert("XSS")>
```

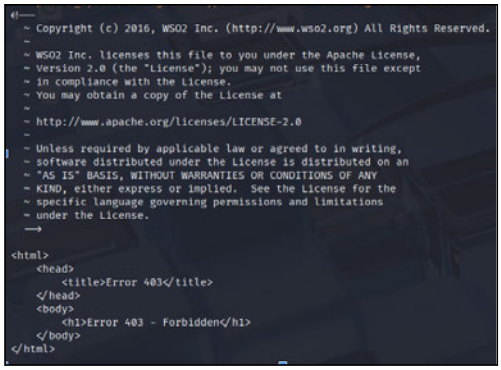
El JSESSIONID es una cookie que se obtiene desde la consola del navegador, pestaña Application -> Cookies.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La respuesta se observa en la Figura 6:

**Figura 6. Respuesta 403 a la petición a Registry**




Con esto se concluye que el parche bloquea el endpoint explícitamente:

- En versiones parcheadas (≥ 7.1.0), el endpoint /carbon/registry/add-text-resource.jsp está restringido solo a redes internas o ha sido eliminado. WSO2 aplicó esto en el parche para mitigar la vulnerabilidad.
- La cookie JSESSIONID ya no es suficiente para acciones privilegiadas en endpoints de registry.
- Las versiones parcheadas requieren tokens CSRF (Cross-Site Request Forgery) adicionales.

### 4.6. Segunda etapa: configuración por defecto de superficies de ataque

En esta prueba se consideró relevante analizar la dimensión de superficie de ataque que WSO2 Identity Server podría tener expuesta. Se realizó esta verificación en tres pasos: escaneo de endpoints, prueba de carga maliciosa y verificación de endurecimiento.

#### 4.6.1. Paso 1: escaneo de endpoints

Se estudia una eventual vulnerabilidad de carga de archivos arbitrarios sin restricciones y ejecución remota de código. Se tomó como base científica el CVE-2022-29464 (crítico), el cual se refiere a la explotación de endpoints como /fileupload expuestos sin autenticación [6]. Esto puede permitir la carga de archivos sin restricciones, lo que puede resultar en la ejecución remota de código. Con esta prueba se estableció como objetivo identificar superficies de ataque no documentadas en la versión 7.1.0 de WSO2 Identity Server.

Como primer paso se propuso identificar endpoints críticos expuestos sin autenticación. Se realizó foco en endpoints históricamente vulnerables, estos endpoint fueron:

- https://iam-vps.fjs.ar/fileupload
- https://iam-vps.fjs.ar/services/
- https://iam-vps.fjs.ar/authenticationendpoint/
- https://iam-vps.fjs.ar/registry/

Se utilizaron banderas en los comandos curl para facilitar alcanzar los objetivos de las pruebas. -s para obtener una salida “silenciosa” centrada en la respuesta del servidor. -k para evitar problemas de certificados SSL/TLS. -I envía una solicitud HEAD para recuperar solo los encabezados HTTP de la respuesta del servidor, no el cuerpo (body).

El escaneo de endpoint dio como resultados:

- curl -skI https://iam-vps.fjs.ar/fileupload. La respuesta fue 401: HTTP/2 401 Unauthorized. De lo cual se concluye que el endpoint /fileupload en WSO2 IS 7.1.0 requiere credenciales válidas (Bearer token). Y que está protegido contra acceso anónimo (mitigando CVE-2022-29464).
- curl -skI https://iam-vps.fjs.ar/services/. La respuesta fue HTTP/2 500 Internal server Error. También se hizo una prueba adicional con el comando curl -sk "https://iam-vps.fjs.ar/services/" | grep -i "exception\|error". De esto se interpreta que a pesar del código de error 500, no se detectaron stack traces, metadatos ni información sensible en la respuesta. Esto mitiga riesgos de enumeración de servicios o ataques dirigidos basados en información de errores.

  Se implementó el escaneado de endpoints haciendo una petición del tipo:

  curl -sk "https://iam-vps.fjs.ar/services/Version?wsdl". Se obtuvo como resultado:

  ```
  <html>
      <head>
          <title>Error 404</title>
      </head>
      <body>
          <h1>Error 404 - Not
  Found</h1>
      </body>
  </html>
  ```

  Esto nos ha llevado a algunas conclusiones. La configuración por defecto de WSO2 7.1.0 reduce proactivamente la superficie de ataque al ocultar WSDLs de servicios internos, así como también bloquear la enumeración de vectores SOAP potencialmente explotables.
- curl -skI https://iam-vps.fjs.ar/authenticationendpoint/. La respuesta fue HTTP/2 404 Not Found. El endpoint no existe.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



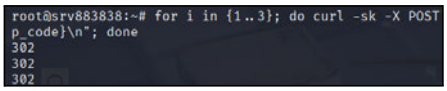
- curl -skI https://iam-vps.fjs.ar/registry/. La respuesta fue HTTP/2 401 Unauthorized.
- curl -skI https://iam-vps.fjs.ar/carbon/admin/login.jsp. La respuesta completa fue:

```
HTTP/2 200
date: Mon, 11 Aug 2025 15:06:42
GMT
content-type:
text/html;charset=UTF-8
server: cloudflare
x-wso2-traceid:
c4d48cb3-1053-4e7f-a82e-8e48f0017
cd2
x-content-type-options: nosniff
x-frame-options: DENY
vary: accept-encoding
nel:
{"report_to":"cf-nel","success_fr
action":0.0,"max_age":604800}
content-language: en
cf-cache-status: DYNAMIC
report-to:
{"group":"cf-nel","max_age":60480
0,"endpoints":[{"url":"https://a.
nel.cloudflare.com/report/v4?s=3Y
wprrE5nLEP%2FxMGHJWjZ4AsbK4f114R4
egyR5bSW%2B118iX80Gesbpr9Iy8Doha2
6X48tCW6dsNlx8aZ%2Bk1u%2FC7tv%2Bt
2mYA3ITFfcQoJaogad3wVa6cBTQ%3D%3D
"}]}
set-cookie:
JSESSIONID=36E2073AB277C01F8A2AC1
93CA981F3A; HttpOnly; Secure;
Path=/
cf-ray: 96d8a36f5dd7ad9c-GIG
alt-svc: h3=":443"; ma=86400
```

Se interpreta que la consola administrativa (/carbon/admin/login.jsp) retornó 200 OK, confirmando una exposición pública. Esto contradice prácticas de hardening recomendadas (NIST SP 800-123), aunque se detectaron protecciones básicas. En este caso se recomienda restringir el acceso a /carbon/* mediante reglas WAF Web Application Firewall (WAF) en Cloudflare o Hostinger en este caso. También es posible aplicar una configuración de deny-all en repository/conf/tomcat/carbon/WEB-INF/web.xml.

Ante esta respuesta, se simularon tres intentos fallidos con fuerza bruta para analizar si se produce bloqueo de cuenta. Estas pruebas fueron las siguientes:

**Figura 7. Respuesta 403 a la petición a Registry**




Como se puede observar en la Figura 7, la respuesta fue tres códigos 302. Los tres intentos de autenticación fallidos retornaron código 302 Found, confirmando que: El sistema no bloquea cuentas tras múltiples intentos fallidos, y que permite ataques de fuerza bruta persistentes contra la consola administrativa.

También se verificó si existe bloqueo de cuenta con el comando:

curl -skI "https://iam-vps.fjs.ar/carbon/admin/login.jsp" | grep "Set-Cookie"

El comando no muestra accountLock=true, ni nada similar, lo cual valida la ausencia de mecanismos anti fuerza bruta.

En este caso se recomienda implementar: Límites de intentos (ejemplo: luego de cinco fallos establecer un bloqueo temporal). CAPTCHA post-intentos fallidos. Monitorización de logs para una detección temprana de este tipo de ataques.

#### 4.6.2. Paso 2: prueba de carga maliciosa (con autenticación)

La prueba consiste en loguearse como administrador en la consola de WSO2, obtener la cookie JSESSIONID y analizar con un intento de path traversal. Recordemos que Path traversal, también conocida como directory traversal, es una vulnerabilidad que generalmente se presenta en aplicaciones web, pero puede afectar a cualquier software que maneje ruta de archivos, y de ser explotada permite al atacante acceder a archivos del servidor donde está corriendo dicha aplicación. Esto puede incluir código y datos de la aplicación, credenciales para el backend y archivos confidenciales del sistema operativo. El atacante no solo puede leer estos archivos, sino que, en algunos casos, podría llegar a modificarlos, afectando la confidencialidad e integridad de estos [9]. La petición fue la siguiente:

```
SESSION="JSESSIONID=XXXXXXXXXXXXXX"

# 1. Intento de path traversal
(autenticado)
```

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



```
curl -sk -X POST -F "file=@/etc/passwd"
-F
"path=../../repository/deployment/serve
r/webapps"
"https://iam-vps.fjs.ar/fileupload/tool
s/any" -H "Cookie: $SESSION"
```

El resultado obtenido fue:

```
{
  "traceId":
"55c911ee-55d4-4af8-89c2-e7604c8f1943",
  "code": 401,
  "description": "Authorization
failure. Authorization information was
invalid or missing from your request.",
  "message": "Unauthorized"
```

Se observa que fue un 401. El endpoint /fileupload rechazó la operación con error 401 Unauthorized a pesar de enviar un JSESSIONID válido, lo que indica una posible doble capa de seguridad, y se requiere autenticación adicional (ej: token CSRF o permisos específicos) además de la cookie. En conclusión: las pruebas de path traversal autenticadas fueron bloqueadas (401 Unauthorized), confirmando que WSO2 7.1.0 implementa una validación de permisos granulares, y presenta una defensa profunda contra una escritura maliciosa en directorios críticos.

#### 4.6.3. Paso 3: verificación de endurecimiento

Para esta prueba se ejecutaron tres comandos, dichos comandos se observan en la siguiente Figura:

**Figura 8. Comando de Paso 3**




El primer comando fue: curl -skI https://iam-vps.fjs.ar/carbon/ | grep -i "location". La respuesta fue: https://iam-vps.fjs.ar/carbon/admin/index.jsp. Esto indica que el acceso a /carbon/ redirige forzosamente al login administrativo (/admin/index.jsp), evitando acceso público no autenticado. El segundo comando fue curl -sk "https://iam-vps.fjs.ar/services/UserAdmin?wsdl" | grep -m1 "<wsdl:" En este caso no hubo respuesta. Finalmente el último comando fue curl -sk "https://iam-vps.fjs.ar/services/UserAdmin?wsdl" | head -n 5. La respuesta fue:

```
<!--
  ~ Copyright (c) 2016, WSO2 Inc.
(http://www.wso2.org) All Rights
Reserved.
  ~
  ~ WSO2 Inc. licenses this file to you
under the Apache License,
  ~ Version 2.0 (the "License"); you
may not use this file except
```

Esta respuesta indica que el WSDL no está expuesto: El servicio SOAP UserAdmin oculta su definición WSDL (muestra comentarios HTML en vez de XML o similar), mitigando posibles fugas de métodos sensibles. O no muestra nada.

### 4.7. Segunda etapa: Prueba de Resiliencia a DoS

Esta prueba tuvo por objetivo simular un ataque de baja intensidad para medir la degradación del servicio e identificar posibles puntos críticos, sin exceder los límites del proveedor de la VPS Hostinger. Se tomó como base científica el aviso de WSO2 identificado como WSO2-2023-2678 [10]. Esta prueba se caracterizó como relevante, porque no se han encontrado en Internet estudios públicos de estrés para WSO2 en su versión 7.1.0. La prueba consistió en generar algo de saturación enviando un payload para medir principalmente cómo responde el servidor y los tiempos de respuesta tras dicha saturación. Se creó una carga de trabajo reducida integrada por 100 parámetros, con un peso aproximado de 1,5 KB. Luego se ejecutó un bucle de veinte solicitudes HTTP enviando el payload. La estructura de las peticiones se muestra a continuación:

```
# Paso 1: Generar payload
python3 -c "print('&'.join(['param' +
str(i) + '=' + 'A'*10 for i in
range(100)]))" > payload.txt

#Verificamos la correcta creación del
archivo
ls -lh payload.txt  # Debe tener ≈
1.5KB
-rw-r--r-- 1 root root 1.9K Aug 12
08:53 payload.txt

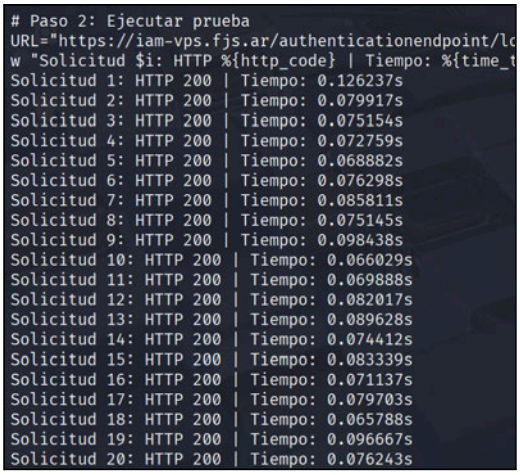
# Paso 3: Ejecutar prueba
URL="https://iam-vps.fjs.ar/authenticat
ionendpoint/login.do"; PAYLOAD=$(sed
's/ /%20/g; s/&/%26/g' payload.txt);
for i in {1..20}; do curl -sk -X GET
"$URL?$PAYLOAD" -o /dev/null -w
"Solicitud $i: HTTP %{http_code} |
Tiempo: %{time_total}s\n"; sleep 5;
done
```

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La respuesta fue la siguiente:

**Figura 9. Respuesta a prueba DoS**




Como se puede observar, los tiempos se mantuvieron estables y en términos razonables (Δ<±0,07 s). Esto da indicios de que WSO2 Identity Server 7.1.0 impide ataques DoS por sobrecarga de parámetros, al menos en el rango que se trabajó. Además, se observa cierta estabilidad en la plataforma, ya que todos los tiempos se mantuvieron en el rango 0,065 - 0,126 s. También es de destacar que no habría una degradación progresiva (el tiempo más alto fue en la primera solicitud: 0,126 s, luego se estabiliza a ≈0,075 s). Existe una desviación mínima con una diferencia entre el máximo y el mínimo de 0,06032 s (variación del 48% desde el pico inicial, pero solo del 22% si excluimos la primera solicitud). Se observa un rendimiento consistente, 18 de 20 solicitudes (90%) se completaron en un tiempo menor a 0,09 s y se destaca un promedio general de 0,078 s (excluyendo la primera solicitud).

Si comparamos la prueba de DoS hechas en WSO2 7.1.0 respecto de las versiones vulnerables afectadas presentadas en el aviso WSO2-2023-2678 (≤ 6.1.0), podemos concluir lo siguiente:

- La versión 7.1.0 puede manejar 100 parámetros con solo 78 ms de tiempo promedio.
- Reduce la superficie de ataque en aproximadamente un 90%.

## 5. Resultados obtenidos

Se definen un conjunto de resultados que se alinean con los objetivos de investigación:

1. Se consiguió identificar como contribución central que WSO2 Identity Server 7.1.0 demuestra mejoras significativas en mitigación de CVEs históricas.
2. El sistema no bloquea cuentas tras múltiples intentos fallidos y permite ataques de fuerza bruta persistentes contra la consola administrativa. También se verificó que no existe bloqueo de cuenta ante este tipo de ataque, lo cual valida la ausencia de mecanismos anti fuerza bruta.
3. WSO2 Identity Server 7.1.0 es resiliente frente a ataques de DoS. Los tiempos de respuesta se mantuvieron estables y en términos razonables (Δ<±0,07 s). WSO2 Identity Server 7.1.0 impide ataques DoS por sobrecarga de parámetros, al menos en el rango que se trabajó. Seguidamente, se observa cierta estabilidad en la plataforma, ya que todos los tiempos se mantuvieron en el rango 0,065 - 0,126 s. También es de destacar que no habría una degradación progresiva (el tiempo más alto fue en la primera solicitud: 0,126 s, luego se estabiliza a ≈0,075 s). Existe una desviación mínima con una diferencia entre el máximo y el mínimo de 0,06032 s (variación del 48% desde el pico inicial, pero solo del 22% si excluimos la primera solicitud). Se observa un rendimiento consistente, 18 de 20 solicitudes (90%) se completaron en un tiempo menor a 0,09 s y se destaca un promedio general de 0,078 s (excluyendo la primera solicitud).
4. Comparando la prueba de DoS hecha en WSO2 7.1.0 respecto de las versiones vulnerables afectadas (≤ 6.1.0) se concluyó lo siguiente:.
    - La versión 7.1.0 puede manejar 100 parámetros con solo 78 ms de tiempo promedio.
    - Reduce la superficie de ataque en aproximadamente un 90%.

## 6. Conclusiones

Respecto al primer objetivo, se consiguió medir y ponderar el rendimiento y los niveles de seguridad de las IAM implementadas y en producción. Más precisamente en WSO2 en su versión 7.1.0. Se consiguió estudiar el grado de protección que ofrece a la identidad del usuario en los escenarios y condiciones planteadas. No obstante, se debe dar prioridad a identificar que el uso de un gestor de identidad de acceso no significa una prevención de vulnerabilidades expuestas, esto no es suficiente. Hay que considerar otros aspectos. Es decir, el gestor de identidad debe estar configurado y administrado por personal capacitado. Debe contener una configuración y análisis sobre endpoints, protección de keys, verificación y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



validación del proveedor del gestor, incluyendo otras variantes emergentes con base en la situación presentada, lo cual implica sumar más capas de seguridad al sistema gestor de identidad por defecto o base.

Respecto al segundo objetivo, parte del equipo de trabajo está trabajando en una técnica que consiste en un modelo doble factor de autenticación basado en smart contracts desplegados en blockchain que no haga uso de proveedores de identidad de terceros, con un enfoque en la privacidad y la seguridad. Sin embargo, esa privacidad y seguridad tienen su costo, ya que la técnica se enfoca en la gestión de identidad como eje principal, pero su naturaleza impide ofrecer servicios adicionales y características, sacrificando servicios tales como recuperación de cuentas y corregir o modificar los smart contract una vez que están desplegados. Esta es una técnica que se podría integrar en un gestor tradicional basado en Web 2.0, como Keyclock o WSO2, para ofrecer una alternativa de gestión de identidad y acceso basada en blockchain. En lo que va del trabajo, se concluye que las herramientas de software vinculadas a la gestión de identidad y acceso, tanto en Web 2.0 y Web 3.0, podrían ser interoperables e integrarse para brindar más alternativas de seguridad a los usuarios de aplicaciones web. Sin poder llegar a afirmar de forma fehaciente que el uso de tecnologías vinculadas a la Web3 mejora o no los niveles de seguridad en aplicaciones web respecto a tecnologías vinculadas a la Web2.

## 7. Formación de recursos humanos

El equipo de trabajo de la presente línea de I+D+i se encuadra en el marco de un proyecto interinstitucional, con un director por cada Universidad participante. Conforman el equipo un grupo de docentes investigadores. En relación con estudiantes de grado, hay dos estudiantes de grado realizando su proyecto final bajo esta línea de investigación. El proyecto involucra estudiantes de carreras de Licenciatura en Informática, Ingeniería en Sistemas y de Licenciatura en Seguridad Informática.

## 6. Trabajo futuro

Definir el ambiente para Web 3.0 y replicar las pruebas hechas para Web 2.0.

Implementar modelos basados en inteligencia artificial. Estudiar el impacto de la inteligencia artificial en la gestión de identidad y acceso, prestando atención a cómo la autenticación de múltiples factores puede adaptarse en tiempo real a las amenazas y necesidades del usuario.

Medir y realizar estudios estadísticos descriptivos y comparativos, involucrando a todos los campos de estudio y experiencias realizadas. Esto nos permitirá generar resultados más concretos y realizar finalmente un compendio de buenas prácticas de ciberseguridad orientado a la gestión de identidad y acceso.

## Referencias

[1] Χ. Γρηγοριάδης, “Identification and assessment of security attacks and vulnerabilities, utilizing CVE, CWE and CAPEC”, Master Thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2019. Consultado: el 6 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/12252

[2] R. Johnson, *WSO2 Architecture and Deployment Guide: Definitive Reference for Developers and Engineers*. HiTeX Press, 2025.

[3] Divyabharathi D. N. y N. G. Cholli, “A Review on Identity and Access Management Server (KeyCloak)”:, *International Journal of Security and Privacy in Pervasive Computing*, vol. 12, núm. 3, pp. 46–53, jul. 2020, doi: 10.4018/IJSPPC.2020070104.

[4] “Security Announcements”. Consultado: el 01 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://security.docs.wso2.com/en/latest/security-announcements/

[5] “Security Advisories”. Consultado: el 01 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://security.docs.wso2.com/en/latest/security-announcements/security-advisories/

[6] “NVD - cve-2022-29464”. Consultado: el 01 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://nvd.nist.gov/vuln/detail/cve-2022-29464

[7] J. A. Donenfeld, “WireGuard: túnel VPN rápido, moderno y seguro”. Consultado: el 2 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.wireguard.com/

[8] “Security Advisory WSO2-2024-2701/CVE-2024-3509”. Consultado: el 2 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://security.docs.wso2.com/en/latest/security-announcements/security-advisories/2024/WSO2-2024-2701/

[9] E. C. Wetzel, A. Padilla, E. Juárez, y I. R. S. Vedelago, “Ataques de Path Traversal son aterradoramente fáciles”, Revista Digital del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, vol. 10, núm. 1, jul. 2025, Consultado: el 6 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: //reddi.unlam.edu.ar/index.php/ReDDi/article/view/267

[10] “Security Advisory WSO2-2023-2678”. Consultado: el 6 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: https://security.docs.wso2.com/en/latest/security-announcements/security-advisories/2025/WSO2-2023-2678/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Evaluación de Madurez en Ciberseguridad: Un Enfoque para Pequeñas y Medianas Empresas

*Jimena Denise Flecha Alfaro*
*Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe*
*jflechaalfaro@frsf.utn.edu.ar*

*María Luciana Roldan*
*Instituto de Desarrollo y Diseño / CIDISI (UTN / CONICET)*
*lroldan@santafe-conicet.gov.ar*

## Resumen

*La ciberseguridad representa un desafío creciente para las pequeñas y medianas empresas, que enfrentan limitaciones de recursos y carecen de personal especializado. En este contexto, resulta fundamental contar con herramientas accesibles que permitan diagnosticar el nivel de madurez en ciberseguridad y orientar acciones de mejora. Este trabajo presenta el diseño y desarrollo de un prototipo de herramienta de autoevaluación, basada en un cuestionario dinámico que integra dos dimensiones de análisis: progresión y capacidad. La propuesta combina referentes internacionales (CSF NIST, ISO/IEC 27001 y C2M2) y genera automáticamente recomendaciones personalizadas según los resultados obtenidos. Los primeros resultados muestran la viabilidad técnica del enfoque y su potencial para ofrecer diagnósticos comprensibles y accionables, favoreciendo la incorporación gradual de prácticas de seguridad en entornos de recursos limitados.*

## Introducción

La ciberseguridad se ha convertido en un componente estratégico indispensable para las organizaciones, independientemente de su tamaño, rubro o sector. La rápida digitalización de procesos, la adopción de servicios en la nube, la integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y la creciente interconexión de dispositivos han ampliado exponencialmente la superficie de ataque. Simultáneamente, los incidentes de seguridad son cada vez más frecuentes, sofisticados y costosos. Este aumento constante de las amenazas digitales genera un escenario en el cual la protección de los activos de información resulta crítica para garantizar la continuidad operativa y la resiliencia de cualquier empresa [1][2]. A pesar de que muchas organizaciones han comenzado a reconocer esta necesidad, incrementando sus presupuestos en ciberseguridad e implementando nuevas medidas de protección, un número significativo de ellas no tiene la confianza de contar con los recursos necesarios para una gestión integral [3].

En este escenario de nuevas vulnerabilidades, amenazas más complejas y falta de personal capacitado, las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) se encuentran en una posición de particular vulnerabilidad. A diferencia de las grandes corporaciones, las PyMEs enfrentan dificultades adicionales, como limitaciones de recursos económicos y humanos, escasa disponibilidad de personal especializado y, a menudo, un desconocimiento de los marcos regulatorios aplicables, lo que las convierte en objetivos atractivos para los ciberdelincuentes [3].

La integración de la ciberseguridad en la estrategia empresarial de las PyMEs no debe entenderse solo como una táctica defensiva, sino como una necesidad estratégica que sustenta el crecimiento en un mundo cada vez más digitalizado. Estas organizaciones pueden desarrollar operaciones más resilientes cuando alinean la ciberseguridad con sus objetivos centrales. Para lograrlo, resulta fundamental superar la visión de la ciberseguridad como una función aislada e incorporarla en los procesos de toma de decisiones estratégicas. De esta manera, las PyMEs fortalecen su capacidad para gestionar riesgos digitales, cumplir con normativas en constante evolución y mantener la confianza de clientes y partes interesadas [4].

En este contexto, los modelos de madurez en ciberseguridad emergen como una herramienta valiosa. Estos modelos ofrecen un marco estructurado útil para evaluar el estado actual de las prácticas y medidas de seguridad y planificar su evolución de manera estratégica. Han demostrado ser eficaces para que las organizaciones gestionen sus riesgos de manera más sistemática, promuevan la mejora continua y eviten la implementación de medidas de seguridad aisladas sin una visión integral [5]. No obstante, una limitación significativa de las herramientas de evaluación de madurez existentes es que su implementación suele requerir de consultores externos o de personal altamente especializado, lo que las hace inaccesibles para las PyMEs que ya enfrentan restricciones presupuestarias y de personal.

Ante esta problemática, este trabajo propone el diseño de una herramienta de autoevaluación específicamente

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



adaptada a pequeñas y medianas empresas que facilite la autoevaluación de su madurez en ciberseguridad. A través de un cuestionario estructurado, la herramienta busca diagnosticar el nivel de madurez en ciberseguridad y generar un conjunto de recomendaciones concretas y personalizadas. De este modo, se presenta una alternativa accesible, clara y adaptable que sirve como un punto de partida fundamental para que las PyMEs fortalezcan su postura de seguridad y emprendan un camino de mejora continua.

## Marco conceptual

Un modelo de madurez es un marco estructurado que permite evaluar el nivel de desarrollo de una organización en un área determinada, en este caso, la ciberseguridad. Su propósito es representar de manera progresiva la evolución de las prácticas, procesos y controles implementados, estableciendo distintos niveles que van desde un estado inicial, caracterizado por la gestión reactiva e informal, hasta un nivel avanzado en el que la seguridad se encuentra plenamente integrada en la cultura organizacional y orientada a la mejora continua [6].

Entre sus principales beneficios se destacan la posibilidad de realizar diagnósticos, identificar brechas de seguridad, guiar la toma de decisiones estratégicas y definir una hoja de ruta clara hacia niveles superiores de protección. Además, los modelos de madurez permiten comparar el estado actual de la organización con un estado deseado y facilitan el seguimiento del progreso a lo largo del tiempo. Los modelos de madurez, independientemente del tipo, comparten una estructura base compuesta por:

- Niveles: Representan las etapas secuenciales que una organización puede alcanzar, describiendo un paso progresivo o un aumento de alguna capacidad u otro atributo que pueda ser medido.
- Dominios: Agrupan un conjunto de actividades o capacidades relacionadas.
- Atributos: Describen características o comportamientos que son observables dentro de cada dominio e indican el logro de un nivel de madurez específico, es decir, que son la intersección entre una actividad o práctica de un dominio y un nivel.

Además, para utilizar los modelos se emplean métodos de evaluación, que definen los criterios utilizados para determinar el nivel real de madurez de la organización que se evalúa, y proveen herramientas, tales como cuestionarios y entrevistas. El objetivo de los mismos es asegurar que la evaluación sea consistente y repetible.

El origen de los modelos de madurez se encuentra en el Capability Maturity Model (CMM), desarrollado en 1987 en el Instituto de Ingeniería de Software (SEI, Software Engineering Institute) con el objetivo de evaluar y mejorar los procesos de desarrollo de software. Este modelo está dividido en cinco niveles, cada uno definido en términos de áreas de proceso y prácticas clave. Una organización debe avanzar por todos los niveles para alcanzar el nivel de optimización; estos son: nivel inicial, repetible, definido, gestionado y de optimización [7]. Posteriormente, este modelo fue adaptado a diversos ámbitos, entre ellos la ciberseguridad, dando lugar a múltiples variantes como Systems Security Engineering Capability Maturity Model (SSE-CMM), Cybersecurity Capability Maturity Model (C2M2), Control Objectives for Information and related Technology (COBIT), National Initiative for Cybersecurity Education - Capability Maturity Model (NICE-CMM), Information Security Management Maturity Model (ISM3) y Cybersecurity Framework - National Institute of Standards and Technology (CSF-NIST), entre otros [8]. Si bien estos modelos proporcionan marcos estructurados para guiar la gestión de la seguridad, la mayoría fueron concebidos con fines específicos y no generales, lo que dificulta su adopción integral en organizaciones que no comparten las condiciones para las que fueron diseñados [9].

Las pequeñas y medianas empresas enfrentan aún mayores barreras para implementar estos modelos, debido a sus limitaciones en recursos financieros, técnicos y humanos. En muchos casos, la complejidad de los modelos existentes y la falta de guías prácticas para su implementación impiden que puedan ser utilizados de manera efectiva. Esta situación ha llevado a que varias PyMEs opten por enfoques simplificados, buscando administrar los costos asociados a los riesgos de ciberseguridad de forma más eficiente. No obstante, recientes estudios resaltan la necesidad de desarrollar modelos adaptados específicamente a las PyMEs, que sean flexibles, prácticos y ajustados a sus necesidades y capacidades reales [10].

Por otro lado, la realización de una evaluación de madurez en ciberseguridad constituye un proceso complejo que, en muchos casos, puede volverse extenso, profundo e incluso tedioso. Para facilitarlo, existen diversas herramientas que permiten estructurar dicho proceso, orientar al usuario y presentar los resultados de manera clara. Entre ellas se encuentran tanto soluciones gratuitas como comerciales, tales como C2M2 Self-Evaluation, CIS Controls Self Assessment Tool (CIS CSAT) o la propuesta de ENISA para PyMEs, entre otras. Estas herramientas responden a enfoques variados: algunas priorizan la profundidad técnica, otras privilegian la flexibilidad o la simplicidad de uso, y algunas incorporan funcionalidades adicionales, como recomendaciones automáticas o generación de reportes.

Sin embargo, esta diversidad también plantea desafíos, ya que no todas las soluciones son accesibles, intuitivas o adecuadas para distintos tipos de organizaciones. De ahí surge la necesidad de contar con una herramienta accesible, contextualizada y orientada a las necesidades reales de las pequeñas y medianas empresas, que sea capaz

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de guiar de manera práctica y progresiva la mejora de su madurez en ciberseguridad. En particular, la mayoría de las herramientas actuales no abordan de forma suficiente algunos aspectos clave para las PyMEs: no consideran en profundidad sus limitaciones operativas y presupuestarias, ofrecen un soporte limitado para interpretar resultados sin conocimientos técnicos especializados y, con frecuencia, carecen de recomendaciones concretas que puedan implementarse con pocos recursos o sin experiencia previa.

Asimismo, la ausencia de representaciones gráficas claras y variadas restringe la capacidad de comunicar resultados de forma comprensible a equipos no técnicos o a la alta dirección. A esto se suma que muchas de las soluciones existentes presentan estructuras rígidas y extensas, lo que hace que el proceso de evaluación resulte lento y poco flexible, especialmente en organizaciones con recursos limitados. Otra limitación común es la carencia de planes de acción o recomendaciones prácticas basadas en los resultados, lo que reduce su valor como herramienta para la mejora continua. Finalmente, cabe señalar que la mayoría de estas soluciones fueron diseñadas en contextos regulatorios o institucionales específicos, lo cual dificulta su adaptación a otras realidades, como la de las pequeñas y medianas empresas en entornos no regulados.

Sobre esta base, en la siguiente sección se presenta la propuesta de una herramienta diseñada específicamente para responder a estas necesidades.

## Propuesta

La propuesta de este trabajo consiste en el diseño de una herramienta de autoevaluación de madurez en ciberseguridad orientada a pequeñas y medianas empresas. Su objetivo principal es brindar un medio claro, accesible y adaptable para diagnosticar el estado actual de sus prácticas de seguridad y orientar la toma de decisiones mediante recomendaciones concretas. A diferencia de otras alternativas más complejas o costosas, la herramienta está pensada para ser utilizada incluso en entornos sin personal especializado, reduciendo las barreras de entrada y ofreciendo una base práctica para iniciar un proceso de mejora continua en ciberseguridad.

### Estructura de la herramienta

La herramienta propuesta se organiza en torno a un conjunto de componentes conceptuales que permiten evaluar de manera integral el nivel de madurez en una organización. Como se mencionó en la sección anterior, un modelo está compuesto por niveles, dominios y atributos, y requiere de un método de evaluación para medir la madurez. A continuación, se definen los componentes utilizados para esta herramienta.

En primer lugar, se definen los dominios que constituyen un componente fundamental, no sólo para la organización de la herramienta sino también para determinar el enfoque analítico y posterior utilidad de los resultados. Para identificar los dominios a considerar se realizó un análisis comparativo de los dominios implementados en distintos modelos de madurez y marcos de referencia (ver **Tabla 1**). Luego de dicho análisis, se consideró adoptar una estructura híbrida, donde se utilicen las funciones del CSF-NIST [11] o las dimensiones organizacionales definidas en ISO/IEC 27001 [12] como categorías principales, y luego, dentro de cada una se organicen los ítems por área técnica, siguiendo el C2M2 [13].

En el análisis realizado el NIST Cybersecurity Framework (CSF) se destacó por ofrecer ventajas frente a otros marcos de referencia. Por un lado, proporciona una visión integral y estructurada de la gestión del riesgo, articulada en torno a cinco funciones que representan el

**Tabla 1. Comparación de dominios**

| Marco / Modelo | Enfoque organizativo | Ejemplo de dominios | Observaciones |
|---|---|---|---|
| C2M2, SSE-CMM | Área de ciberseguridad | Control de accesos, Gestión de activos, Respuesta de incidentes | > Permite una evaluación detallada de cada práctica de ciberseguridad, lo que favorece la identificación precisa de fortalezas y debilidades técnicas.<br>> Esta granularidad también implica una mayor cantidad de ítems a evaluar, lo que podría dificultar su adopción en PyMEs sin personal técnico especializado. |
| CSF-NIST | Función de ciberseguridad | Identificar, Proteger, Detectar, Responder, Recuperar | > Ofrece una visión integral y estructurada del proceso de gestión del riesgo, facilitando la comprensión de prioridades<br>> Resulta accesible para distintos perfiles dentro de la organización y favorece la identificación de brechas a nivel de procesos y no exclusivamente en controles técnicos. |
| ISO 27001, ENISA | Dimensiones generales | Personas, Tecnología, Organización, Entorno físico | > Ofrece claridad para públicos no técnicos, lo cual la convierte en una herramienta útil para procesos de concientización organizacional.<br>> Facilita el mapeo con controles de ISO 27001.<br>> Presenta una limitación cuando se intenta aplicar parcialmente: al estar dividida en dimensiones independientes, la selección de solo algunos dominios puede generar una visión sectorizada, que no represente adecuadamente el estado general de la ciberseguridad en la organización. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ciclo completo de la ciberseguridad. Esta organización favorece la priorización de acciones, ya que permite comprender la relación lógica entre fases (por ejemplo, no es posible proteger lo que no se ha identificado previamente).

Además, el CSF se distingue por su accesibilidad a distintos perfiles dentro de la organización: su narrativa funcional facilita que tanto responsables técnicos como directivos interpreten el nivel de madurez alcanzado, evitando una mirada excesivamente centrada en controles individuales. Esto no solo simplifica la comunicación de brechas, sino que también orienta la toma de decisiones estratégicas, al vincular las prácticas evaluadas con procesos críticos de negocio y continuidad operativa.

A diferencia de otros modelos más rígidos o específicos, el CSF funciona como una estructura de alto nivel que puede complementarse con estándares técnicos (ISO/IEC 27001, CIS Controls) o con modelos de madurez más detallados (como el C2M2). Esta característica lo convierte en una base ideal para diseñar herramientas de autoevaluación aplicables a PyMEs, que requieren equilibrio entre claridad conceptual, practicidad y alineación con buenas prácticas reconocidas internacionalmente.

De esta manera, esta combinación permite mantener una narrativa funcional clara (accesible y coherente con el ciclo de ciberseguridad), sin perder la capacidad de análisis profundo sobre distintos aspectos técnicos u organizativos. Debido a las ventajas previamente mencionadas que NIST Cybersecurity Framework (CSF) ofrece en relación a los otros frameworks, se decidió organizar la herramienta en torno a las funciones de éste: Identificar, Proteger, Detectar, Responder y Recuperar. Luego, dentro de cada dominio (o función de NIST CSF) se incorporaron subdominios provenientes de ISO/IEC 27001 y los CIS Controls [14], particularmente controles y prácticas relevantes alineados a esa fase del ciclo de seguridad (ver **Tabla 2**).

**Tabla 2. Dominios y subdominios**

| Dominio | Subdominio |
|---|---|
| Identificar (ID) | Gestión de activos (GA);<br>Gestión de riesgos (GR) |
| Proteger (PR) | Control de accesos (CA);<br>Concientización y capacitación (CC);<br>Protección de datos (PD) |
| Detectar (DE) | Monitoreo de seguridad (MS);<br>Detección de amenazas (DA) |
| Responder (RS) | Gestión de incidentes (GI);<br>Mitigación de incidentes (MI) |
| Recuperar (RC) | Planes de recuperación y continuidad (PR);<br>Respaldo y restauración de datos (RR) |

En segundo lugar, se definen los niveles de madurez para determinar un diagnóstico del estado de ciberseguridad en las organizaciones. La propuesta adopta un enfoque híbrido que integra dos dimensiones de análisis: madurez de capacidad y madurez de progresión [15]. La primera se centra en determinar la profundidad con que se implementan las prácticas, evaluando aspectos como formalización, documentación, asignación de responsabilidades, recursos disponibles, políticas definidas y mecanismos de control y de mejora continua (ver **Tabla 3**). Esta perspectiva va más allá de la mera adopción de medidas de seguridad para examinar el grado de institucionalización y sostenibilidad de las mismas dentro de la estructura organizacional. La segunda mide la progresión o el avance cuantitativo en la implementación de buenas prácticas de ciberseguridad dentro de cada subdominio evaluado. Esta métrica se basa en la proporción de prácticas efectivamente implementadas respecto del total de prácticas recomendadas para cada área específica, proporcionando un indicador claro del nivel de cobertura alcanzado.

Ambas dimensiones son complementarias entre sí. Por un lado, un modelo de progresión permite mostrar una secuencia de prácticas que van desde las menos hasta las más maduras. Por ejemplo: 1) uso de contraseñas simples → 2) contraseñas robustas → 3) cambios periódicos de contraseñas → 4) autenticación de dos factores → 5) autenticación de tres factores [16]. En este caso, el nivel de madurez se determina según cuántas de estas prácticas se han implementado. En cambio, un modelo de capacidad permite evaluar el grado en que dichas prácticas están institucionalizadas dentro de la organización, considerando aspectos como la existencia de políticas formales de gestión de contraseñas, la capacitación de los usuarios sobre contraseñas fuertes y seguras y el monitoreo continuo de cumplimiento de políticas. Así, mientras la progresión mide el avance en la adopción de prácticas, la capacidad mide el grado de solidez y sostenibilidad organizacional con que estas prácticas se llevan a cabo.

De esta manera, el modelo propuesto utiliza un modelo de madurez híbrido, que permite un diagnóstico más completo e integral del estado de ciberseguridad. El objetivo es evitar visiones parciales, ya que una organización puede mostrar una alta progresión en la adopción de prácticas, pero con una capacidad limitada que las vuelve informales o frágiles. Asimismo, el modelo híbrido facilita la identificación precisa de fortalezas y debilidades, al diferenciar si las carencias provienen de la falta de adopción de medidas o de su insuficiente institucionalización.

**Tabla 3. Niveles de capacidad**

| Niveles | Características |
|---|---|
| Nivel 1 | Las prácticas se realizan, pero pueden ser ad hoc. |
| Nivel 2 | Las prácticas están documentadas.<br>Se proporcionan recursos adecuados para apoyar las actividades del dominio. |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | |
|---|---|
| Nivel 3 | Las actividades están guiadas por políticas.<br>La efectividad de las actividades en el dominio se evalúa. |

Por último, se define un método de evaluación basado en cuestionarios, diseñados para identificar el nivel de madurez en ciberseguridad. Estos cuestionario son:

- Cuestionario de Perfil: Tiene la función de relevar características particulares operativas, técnicas y organizativas de la empresa evaluada y permite adaptar dinámicamente el cuestionario de Evaluación en base a estas características.
- Cuestionario de Evaluación: Está orientado a identificar el nivel de madurez en ciberseguridad de la organización, dentro de los dominios definidos. Cada práctica evaluada se aborda a través de una o más preguntas, formuladas con el objetivo de identificar no sólo si la práctica se lleva a cabo, sino también en qué grado de formalización. Este bloque de evaluación va a estar conformado por preguntas base, comunes para todas las empresas, y preguntas complementarias o condicionales, generadas a partir de las respuestas brindadas en el cuestionario de Perfil.

Esta estructura permite personalizar el proceso según el contexto de cada organización, evitando preguntas irrelevantes y ajustando la evaluación a las prácticas realmente aplicables. Las preguntas utilizan opciones de respuesta cerradas y se formulan en un lenguaje simple, lo que facilita su comprensión por parte de usuarios sin formación técnica.

La lógica de los cuestionarios se basa en la estructura de un grafo dirigido, en el cual cada nodo representa una pregunta y cada arista corresponde a una opción de respuesta que conecta dicha pregunta con la siguiente. Esta arquitectura permite modelar flujos condicionales, adaptando la secuencia de preguntas en función de las respuestas seleccionadas por el usuario. Además, dependiendo del tipo de pregunta (de progresión o de capacidad), cada opción estará asociada a un nivel de progresión, un nivel de capacidad y a una o más recomendaciones específicas.

Una vez completada la evaluación, el sistema calcula los niveles de madurez correspondientes utilizando el nivel asociado a cada respuesta seleccionada por el usuario, y genera automáticamente recomendaciones personalizadas, diseñadas a partir de buenas prácticas reconocidas, tomadas de controles de ISO/IEC 27001, CIS Controls, y C2M2.

**Ejemplo ilustrativo**

Para ejemplificar la estructura y funcionamiento de la herramienta, supongamos que el subdominio "Control de acceso" (CA) incluye las prácticas: CA.3) "Aplicar políticas mínimas de gestión de contraseñas para cuentas de usuario" y CA.4) "Revocar usuarios y accesos cuando un empleado cambia de puesto, deja la empresa o la cuenta permanece inactiva por determinado tiempo".

Estas prácticas pueden implementarse en distintos niveles de formalización o institucionalización, es decir, en distintos niveles de madurez de capacidad. Para determinar en qué nivel se encuentra una empresa, se definen atributos o características que se esperan alcanzar en cada nivel. En la Tabla 4 se presentan ejemplos de atributos esperados para la práctica CA.4 (ver **Tabla 4**).

**Tabla 4. Ejemplo de atributos esperados para la práctica CA.4**

| Nivel | Atributos esperados |
|---|---|
| Nivel 1 | > Los accesos se desactivan solo si alguien lo solicita (ej.: RRHH o el jefe directo), y puede haber demoras.<br>> No se lleva un registro de los accesos revocados ni se realiza un seguimiento de cuentas inactivas. |
| Nivel 2 | > Existe un procedimiento que establece cuándo deben revocarse los accesos (ej.: desvinculación o cambios de rol).<br>> Se documenta la revocación.<br>> Se identifican cuentas inactivas cada cierto tiempo y se revisan manualmente. |
| Nivel 3 | > Hay una política formal que define claramente los criterios y plazos para la revocación.<br>> El proceso está automatizado o sistematizado (por ejemplo, desactivación automática al cierre del contrato o al pasar X días de inactividad).<br>> Se audita regularmente el cumplimiento.<br>> Se validan los accesos restantes tras un cambio de puesto o proyecto. |

Luego, para poder determinar efectivamente en qué nivel se encuentra una organización, el cuestionario asocia a cada práctica un conjunto de preguntas de progresión (si la práctica se implementa) y de capacidad (cómo se implementa). La lógica condicional del cuestionario hace que la segunda solo se muestre si la empresa declara implementar la práctica.

Siguiendo con el ejemplo, supongamos que las siguientes preguntas forman parte del conjunto de preguntas del subdominio, cuyo grafo reducido se muestra en la **Figura 1**. Cada pregunta tiene una serie de opciones de respuestas y cada opción tiene asociado un valor que indica el nivel de madurez de capacidad.

Q7: ¿Se revocan los accesos cuando una persona deja la empresa, cambia de rol o una cuenta queda inactiva?

a. No [nivel 0]
b. Sí [nivel 1]

Q8: ¿Cómo se gestiona la revocación de accesos?

a. Se hace manualmente, según se solicita, sin documentación [nivel 1]

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



b. Existe un procedimiento documentado, con responsables asignados [nivel 2]
c. Se aplica una política formar con control automatizado [nivel 3]

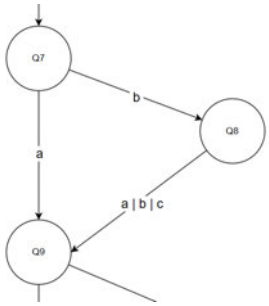



**Figura 1. Grafo reducido del subdominio Control de acceso**

De esta manera, el cuestionario no solo identifica qué prácticas se aplican, sino también el grado de formalización con que se llevan a cabo, lo que permite asignar un nivel de madurez en forma más precisa.

El cálculo del nivel de madurez, tanto de capacidad como de progresión, pasa a determinarse de la siguiente manera. Por cada subdominio, se calcula:

- Nivel de madurez de progresión: Esto es igual a la cantidad de preguntas de progresión cuyo nivel de madurez es distinto a cero (es decir, que sí se implementa) sobre la cantidad total de prácticas que el subdominio incluye.
- Nivel de madurez de capacidad: Esto es igual al mínimo nivel alcanzado en las prácticas implementadas, es decir aquellas que han alcanzado al menos el nivel 1, o se asigna nivel 0 si no se implementa ninguna práctica. Esta decisión busca evitar una penalización sistemática por la ausencia de prácticas avanzadas que, en el contexto de una PYME, pueden no haberse considerado aún.

Luego, el cálculo del nivel de madurez de progresión del dominio es igual al promedio de los niveles de madurez de progresión de sus subdominios; mientras que el nivel de madurez de capacidad del dominio es igual al mínimo nivel alcanzado por sus subdominios.

Finalmente, de la misma forma que cada opción tiene asociado un nivel de madurez, también tiene asociado una o más recomendaciones, que buscan llevar a la organización a aumentar su nivel de madurez. En la **Tabla 5** se muestran ejemplos de recomendaciones asociadas a la práctica CA.4. En las filas se enumeran las distintas acciones sugeridas, ordenadas desde las más básicas hasta las más avanzadas, mientras que las columnas corresponden a los niveles de madurez alcanzados (N0, N1, N2). Una marca en una celda (X) indica que la recomendación debe ser considerada por la organización al encontrarse en ese nivel.

Cabe aclarar que, en el modelo propuesto, el Nivel 1 describe un estado de madurez con prácticas reactivas, informales y no sistematizadas, útil solo con fines diagnósticos, pero no considerando un objetivo de implementación. Por ello, cuando una organización se encuentra en un nivel inicial (nivel 0), es decir, no realiza ninguna acción relativa a la práctica evaluada, las recomendaciones no apuntan a reproducir conductas propias del Nivel 1, sino a avanzar directamente hacia el Nivel 2, donde se promueven acciones básicas pero planificadas, documentadas y sostenibles. De este modo, se fomenta desde el inicio una estructura mínima, con responsabilidades definidas y registro de actividades, asegurando una mejora real en la madurez.

**Tabla 5. Ejemplo de recomendaciones para la práctica CA.4**

| Recomendación | N0 | N1 | N2 |
|---|---|---|---|
| Establecer un procedimiento básico de revocación de accesos.<br>> Definir qué debe hacerse cuando un empleado deja la empresa, cambia de rol o una cuenta queda inactiva por más de X días. | X | X | |
| Incluir la baja de accesos como parte del proceso de salida del personal.<br>> Coordinar con RRHH o quien gestione los contratos para que se notifique a TI ante desvinculaciones. | X | X | |
| Revisar manualmente o automáticamente cuentas inactivas cada cierto tiempo. | X | X | |
| Documentar cada revocación de acceso.<br>> Registrar usuario, fecha, motivo, y quién realizó la acción. | X | X | |
| Redactar una política formal de revocación de accesos.<br>> Incluir eventos que disparan la revocación, plazos máximos, roles responsables y trazabilidad requerida. | | | X |
| Verificar periódicamente el cumplimiento de la política. | | | X |

**Requerimientos de la herramienta**

Para garantizar que la herramienta cumpla con los objetivos planteados y pueda ser utilizada de manera efectiva por pequeñas y medianas empresas, resulta necesario definir un conjunto de requerimientos que orienten su diseño y desarrollo. Estos requerimientos establecen tanto las funciones que debe ofrecer el sistema para cumplir su propósito principal, como las condiciones de calidad que aseguren su usabilidad, accesibilidad y escalabilidad.

En este sentido, se distinguen dos categorías principales: requerimientos funcionales (ver **Tabla 6**), que describen las capacidades esenciales de la herramienta, y requerimientos no funcionales (ver **Tabla 7**), que definen atributos como simplicidad, claridad y adaptabilidad. La identificación de ambos tipos de requerimientos constituye

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la base para el diseño conceptual y técnico de la solución propuesta.

**Tabla 6. Requerimientos funcionales**

| ID | Requerimiento funcional |
|---|---|
| RF01 | El sistema debe permitir el registro de nuevos usuarios mediante correo electrónico y contraseña. |
| RF02 | El sistema debe permitir el inicio de sesión de usuarios registrados. |
| RF03 | El sistema debe permitir completar un cuestionario de Perfil con preguntas fijas. |
| RF04 | El sistema debe generar dinámicamente el cuestionario de Evaluación según las respuestas del Perfil. |
| RF05 | El sistema debe permitir responder el cuestionario de Evaluación, compuesto por preguntas agrupadas por dominio. |
| RF06 | El sistema debe permitir guardar el avance de un cuestionario incompleto para reanudarlo más adelante. |
| RF07 | El sistema debe permitir navegar hacia adelante y hacia atrás en los cuestionarios. |
| RF08 | El sistema debe calcular el nivel de madurez de progresión y de capacidad por cada subdominio. |
| RF09 | El sistema debe calcular el nivel de madurez de madurez y progresión por cada dominio. |
| RF10 | El sistema debe generar recomendaciones específicas según las respuestas elegidas en cada pregunta de Evaluación. |
| RF11 | El sistema debe almacenar los resultados de cada evaluación realizada por el usuario. |
| RF12 | El sistema debe permitir al usuario visualizar gráficamente el resultado de su evaluación actual. |
| RF13 | El sistema debe permitir al usuario descargar un informe en formato Excel con resultados y recomendaciones. |
| RF14 | El sistema debe permitir consultar un historial de evaluaciones anteriores. |
| RF15 | El sistema debe permitir comparar resultados de distintas evaluaciones para observar evolución. |
| RF16 | El sistema debe permitir cerrar sesión. |
| RF17 | El sistema debe permitir recuperar la cuenta si el usuario se olvida la contraseña. |

**Tabla 7. Requerimientos no funcionales**

| ID | Requerimiento no funcional |
|---|---|
| RNF01 | El sistema debe estar disponible en idioma español. |
| RNF02 | El lenguaje utilizado en las preguntas debe ser claro, accesible y comprensible para usuarios sin conocimientos técnicos. |
| RNF03 | El sistema debe garantizar que solo se pueda tener una evaluación activa por usuario a la vez. |
| RNF04 | Las evaluaciones deben poder guardarse parcialmente de forma automática o manual. |
| RNF05 | El sistema debe permitir acceso multiplataforma desde navegadores (últimas versiones estables de: Chrome, Firefox, Safari, Edge). |
| RNF06 | La generación del informe Excel debe completarse en menos de 10 segundos. |
| RNF07 | El sistema debe garantizar la integridad y confidencialidad de los datos del usuario mediante autenticación y almacenamiento seguro. |
| RNF08 | El diseño de la base de datos debe permitir escalabilidad horizontal para permitir múltiples usuarios concurrentes. |
| RNF09 | El tiempo máximo de respuesta ante una solicitud no debe superar los 2 segundos en condiciones normales, en el 95% de las solicitudes. |
| RNF10 | El sistema debe estar desarrollado bajo buenas prácticas de seguridad, incluyendo validación de entradas, control de sesiones y cifrado de contraseñas. |
| RNF11 | El sistema debe estar disponible y operativo el 99.9% del tiempo durante el horario de operación (24/7). |

Por simplificación, en esta primera versión de la herramienta, se han omitido ciertas funcionalidades que se encuentran previstas para futuras iteraciones. Entre ellas, la posibilidad de descargar y volver a subir respuestas de cuestionarios completados, lo cual permitiría comparar evaluaciones a lo largo del tiempo o entre diferentes usuarios. Además, no se ha implementado la opción para que el usuario elija específicamente qué subdominios desea evaluar dentro del cuestionario de Evaluación; actualmente, estos se determinan automáticamente a partir del cuestionario de Perfil. Estas funcionalidades aportarían mayor flexibilidad y utilidad en contextos de evaluación continua, seguimiento de mejoras y personalización de la experiencia del usuario. Tampoco se contempla, por el momento, la posibilidad de gestionar múltiples evaluaciones activas de manera simultánea, por ejemplo, en el caso de un consultor que esté trabajando con varias empresas a la vez.

**Diseño de la solución**

El diseño de la solución constituye la traducción práctica de los fundamentos conceptuales y requerimientos previamente definidos. Su propósito es establecer una representación clara de la estructura interna de la herramienta, de modo que se pueda comprender cómo se organizan sus componentes y de qué manera interactúan entre sí. Para ello, se incluyen diagramas representativos que ilustran tanto la visión general del sistema como la lógica central del cuestionario, facilitando la comprensión del funcionamiento global de la herramienta y sentando las bases para su implementación en un prototipo funcional.

La **Figura 2** muestra la arquitectura general de la herramienta propuesta. Se trata de una aplicación web basada en una arquitectura cliente-servidor, en la cual el usuario interactúa mediante una interfaz sencilla que permite completar los cuestionarios y visualizar resultados. La comunicación entre el cliente y el servidor se realiza a través de una API REST, utilizando solicitudes HTTP. Esta API actúa como intermediaria entre la interfaz de usuario y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la lógica de negocio. La información es procesada por un módulo central de evaluación, encargado de aplicar reglas de negocio, validar datos y acceder a la base de datos. Toda la lógica del sistema (como generar cuestionarios, guardar respuestas o calcular resultados) se ejecuta en este nivel, manteniendo el cliente liviano y orientado solo a la presentación.

Luego este módulo se conecta con una base de datos NoSQL orientada a documentos, donde se almacenan preguntas, respuestas, niveles de madurez y recomendaciones. Esta tecnología resulta especialmente adecuada para gestionar cuestionarios con estructuras dinámicas de preguntas, condiciones y resultados, ya que permite modelar entidades complejas en documentos autocontenidos y realizar operaciones eficientes sin depender de múltiples joins.

Esta arquitectura garantiza simplicidad, escalabilidad y facilidad de acceso, aspectos clave para su adopción en pequeñas y medianas empresas. Para garantizar la seguridad en la comunicación entre el cliente y el servidor, se propone el uso del protocolo HTTPS, lo que asegura que las solicitudes y respuestas viajen cifradas. Además, el sistema incorporará mecanismos de autenticación y autorización (mediante tokens JWT), que permiten verificar la identidad de los usuarios y restringir el acceso a determinadas funcionalidades o datos según los permisos asignados. Esto resulta fundamental para proteger la información sensible, como los resultados de evaluación o los perfiles de usuario.

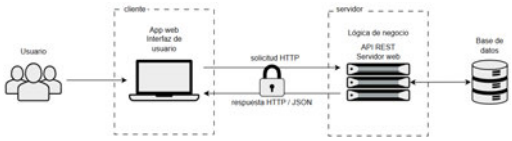



**Figura 2. Modelo de la arquitectura**

Por otro lado, se describe brevemente el flujo de interacción entre el usuario y el sistema de evaluación de madurez (ver **Figura 3**). El proceso se inicia cuando el usuario accede a la plataforma mediante autenticación (1).

Una vez autenticado, el sistema verifica si el usuario cuenta con un perfil completo. En caso de no tenerlo, se solicita al usuario completar el cuestionario de Perfil (2), que permitirá al sistema personalizar la experiencia de evaluación según las características específicas de la organización.

Con el perfil establecido, el sistema procede a generar un cuestionario de Evaluación personalizado (3), adaptado a las necesidades y características identificadas en el perfil del usuario. Una vez completado el cuestionario de Evaluación (4), el sistema procesa automáticamente las respuestas proporcionadas (5) y ejecuta los algoritmos de cálculo para determinar el nivel de madurez alcanzado en cada dominio y subdominio evaluado (6). Paralelamente, genera recomendaciones personalizadas basadas en los resultados obtenidos y las mejores prácticas identificadas para cada nivel de madurez (7).

Finalmente, el usuario accede a una vista integral de resultados que incluye: los niveles de madurez por dominio y subdominio, y las recomendaciones personalizadas para mejorar en las áreas identificadas como oportunidades de crecimiento (8).

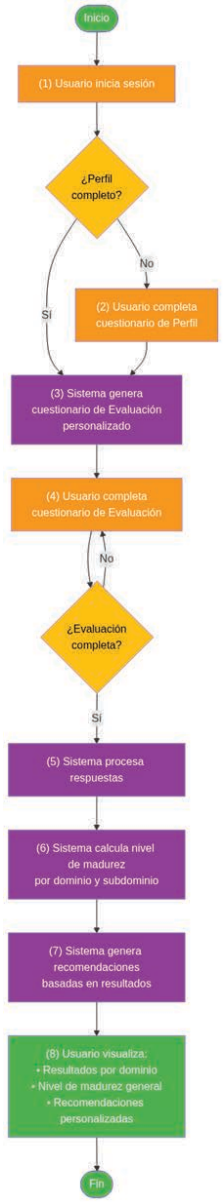



**Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de evaluación de madurez**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Este flujo garantiza una experiencia de usuario estructurada y personalizada, asegurando que los resultados y recomendaciones sean relevantes y accionables para cada contexto organizacional específico.

## Implementación

Como validación inicial de la propuesta se implementó un prototipo funcional de la herramienta. Para el desarrollo del mismo se utilizó React con Next.js y se creó una base de datos MongoDB. Este prototipo implementa un conjunto reducido pero representativo de las funcionalidades clave que permiten demostrar el funcionamiento básico del sistema. Estas son:

- Carga y navegación del Cuestionario de Evaluación (Requerimientos funcionales RF05 y RF07).
- Cálculo automático del nivel de madurez para cada subdominio evaluado (Requerimientos funcionales RF08 y RF09), en función de las respuestas seleccionadas por el usuario.
- Generación de recomendaciones específicas orientadas a guiar el progreso hacia niveles superiores de madurez (Requerimientos funcionales RF10 y RF11).

Para validar estas funcionalidades, se definieron de manera completa los subdominios *Control de acceso* y *Concientización y capacitación*, ambos pertenecientes al dominio *Proteger*, incluyendo prácticas, preguntas, opciones de respuesta, atributos y recomendaciones para cada nivel.

En el desarrollo del prototipo se utilizó la metodología Kanban. Esta metodología facilita la organización del trabajo individual a través de la visualización de las tareas en un tablero, lo que permite tener un panorama claro del estado de avance en todo momento. Asimismo, el control del trabajo en curso (Work In Progress, WIP) favorece la concentración en un número limitado de tareas, evitando la dispersión de esfuerzos. Este enfoque metodológico no solo brinda orden y visibilidad al proceso de desarrollo, sino que también permite adaptarse de forma flexible a los avances del proyecto y a las decisiones de diseño que puedan surgir durante la implementación.

De esta manera el prototipo permite que un usuario complete el Cuestionario Evaluación (ver **Figura 4**), y a partir de sus respuesta se calcule el nivel de madurez alcanzado tanto en el dominio Proteger como en sus subdominios (ver **Figura 5**) y se genere un conjunto de recomendaciones prácticas para alcanzar niveles más altos de madurez.




**Figura 4. Ejemplo de la interfaz del Cuestionario de Evaluación**

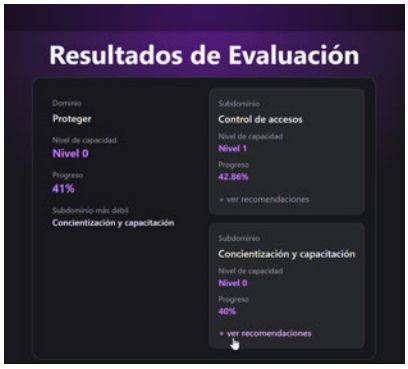



**Figura 5. Ejemplo de la interfaz de resultados del dominio Proteger**

El prototipo alcanzado constituye una primera validación de la lógica esencial del sistema para evaluación de madurez de ciberseguridad. Para lograr una herramienta completamente funcional, se requiere continuar un proceso de desarrollo iterativo e incremental que abarque más dominios, subdominios y buenas prácticas, para convertirse en una herramienta integral de apoyo a las PyMEs en la gestión de su madurez en ciberseguridad.

## Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo presentó el diseño y desarrollo de un prototipo de herramienta de autoevaluación de madurez en ciberseguridad orientada a pequeñas y medianas empresas. A partir del análisis de modelos y herramientas existentes, se identificaron limitaciones comunes relacionadas con la complejidad de uso, la falta de personalización y la escasa orientación a organizaciones con recursos limitados. En respuesta a estas brechas, la propuesta buscó integrar un enfoque accesible, comprensible y accionable, combinando la evaluación de progresión y capacidad con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



un sistema de cuestionarios dinámicos y recomendaciones personalizadas.

El desarrollo del prototipo permitió validar la viabilidad técnica de la herramienta y confirmar que la lógica de cálculo de niveles de madurez, tanto de progresión como de capacidad, puede implementarse de forma coherente con el modelo conceptual planteado. Además, la integración de recomendaciones específicas según las respuestas demostró ser una estrategia efectiva para aportar valor práctico a los usuarios. En este marco, el modelo de base adoptado ofrece una cobertura transversal, al integrar personas, procesos y tecnología; permite una implementación progresiva, ya que se pueden seleccionar dominios clave sin perder coherencia general; y asegura la alineación con marcos reconocidos internacionalmente, lo que aporta flexibilidad y utilidad tanto para el diagnóstico como para la planificación de mejoras.

No obstante, el alcance actual de la herramienta se encuentra limitado a un conjunto acotado de dominios y no ha sido aún validado en escenarios reales. En este sentido, el trabajo futuro contempla varias líneas de desarrollo: (i) implementar el Cuestionario de Perfil para lograr mayor personalización y el resto de las funcionalidades planificadas, (ii) ampliar la cobertura de dominios y subdominios de seguridad, incorporando prácticas adicionales relevantes para diferentes sectores, (iii) realizar pruebas piloto en PyMEs de diversos rubros para evaluar la usabilidad, efectividad y nivel de aceptación de la solución y (iv) fortalecer la interfaz gráfica y los mecanismos de visualización de resultados.

En conclusión, la herramienta propuesta representa un primer paso hacia la construcción de soluciones prácticas y adaptadas a las necesidades de las PyMEs, contribuyendo a reducir las barreras de entrada a la gestión de la ciberseguridad y favoreciendo la adopción de una cultura de mejora continua en este ámbito crítico.

## Referencias

[1] LATAM CISO & Duke University, "Perspectivas de ciberseguridad de los líderes de la industria", Informe LATAM CISO 2023, pp. 11-20.

[2] Kaspersky, “IT Security Economics”, 2024.

[3] World Economic Forum, “Global cybersecurity outlook 2025”, January 2025, pp. 8-31, https://www.weforum.org/publications/global-cybersecurity-outlook-2025/

[4] Whitman John, El-Karin Aisha, Nandakumar Priya, Ortega Fernando and Zheng Lijuan, “Integrating Cybersecurity into SME Business Strategy”, 2024, pp 1-4

[5] N. T. Le and D. B. Hoang, "Can maturity models support cyber security?", 2016 IEEE 35th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/PCCC.2016.7820663

[6] Caralli Richard, Knight Mark and Montgomery Austin, “Maturity Models 101: A Primer for Applying Maturity Models to Smart Grid Security, Resilience, and Interoperability”, 2012, pp. 1-14, Carnegie Mellon University and Software Engineering Institute

[7] Oxford University Press, “Capability Maturity Model”, https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803095547264?rskey=JD8m2T&result=2

[8] A. M. Rea-Guaman, I. D. Sánchez-García, T. S. Feliu and J. A. Calvo-Manzano, "Maturity models in cybersecurity: A systematic review," 2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Lisbon, Portugal, 2017, pp. 1-6, doi: 10.23919/CISTI.2017.7975865.

[9] Garba Adamu, Sirat Maheyzah and Othman Siti, “An Explanatory Review on Cybersecurity Capability Maturity Models”, 2020 Advances in Science Technology and Engineering Systems Journal, pp. 1-8, doi: 10.25046/aj050490

[10]. Brezavšček and Baggia, “Recent Trends in Information and Cyber Security Maturity Assessment: A Systematic Literature Review”, Systems 2025, pp. 1-42, doi: 10.3390/systems13010052

[11] National Institute of Standards and Technology, “The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0.”, 2024, doi:10.6028/NIST.CSWP.29

[12] International Organization for Standarization, “ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection - Information security management systems”, 2022

[13] U.S. Deparment of Energy, “Cybersecurity Capability Maturity Model, Version 2.1.”, 2022, https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-06/C2M2%20Version%202.1%20June%202022.pdf

[14] Center for Internet Security, “CIS Critical Security Controls Version 8”, 2021, https://www.cisecurity.org/controls/v8

[15] Caralli Rich, “Discerning the Intent of Maturity Models from Characterizations of Security Posture”, 2012, pp. 1-6, Carnegie Mellon University and Software Engineering Institute

[16] CERT Division, “Why Use Maturity Models to Improve Cybersecurity: Key Concepts, Principles, and Definitions”, 2013, Carnegie Mellon University and Software Engineering Institute

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Agente Autónomo para la Detección Proactiva de Vulnerabilidades en Billeteras Virtuales y Contratos Inteligentes

*Agustin Ragessi, Alejo Gazagne, Eduardo Casanovas, Gabriel Guillaumet, Ignacio Casanovas, Mariel Rodriguez, Matias Carrizo, Simon Llamosas, Tomás Disandro*
*Universidad de la Defensa Nacional – Facultad de Ingeniería Av Fuerza Aérea 6500, Córdoba, Argentina*
gragessi561@alumnos.iua.edu.ar, agazagne026@alumnos.iua.edu.ar, ecasanovas@iua.edu.ar, gguillaumet011@alumnos.iua.edu.ar, jcasanovas@iua.edu.ar, mrodriguez611@alumnos.iua.edu.ar, mcarrizo490@alumnos.iua.edu.ar, sllamosas806@alumnos.iua.edu.ar, tdisandro549@alumnos.iua.edu.ar

## Resumen

*El ecosistema Web3 experimenta un crecimiento exponencial en la adopción de billeteras digitales y contratos inteligentes, lo que conlleva un aumento significativo en los riesgos de ciberseguridad. Las pérdidas por hackeos y estafas en plataformas de criptomonedas han alcanzado cifras alarmantes, evidenciando una brecha crítica en los mecanismos de seguridad proactivos. Las auditorías manuales tradicionales son costosas, lentas e inescalables, lo que impulsa la necesidad de soluciones innovadoras. Este trabajo presenta el diseño de un agente autónomo para la detección proactiva de vulnerabilidades en billeteras virtuales y contratos inteligentes, integrando n8n para la orquestación de flujos y LangChain para el análisis contextual con modelos de lenguaje. Con el fin de validar la viabilidad técnica, se implementó una prueba de concepto (POC) que ejecutó análisis estático con Slither[1] y generó resúmenes automáticos de hallazgos mediante un LLM. La POC detectó correctamente vulnerabilidades de alto impacto (p. ej., reentrancy) en un contrato de ejemplo. A futuro, se proyecta extender el alcance hacia análisis dinámico en testnets, incorporación de herramientas para clientes móviles/web y generación de reportes integrales.*

## 1. Introducción

El rápido crecimiento del ecosistema Web3 ha llevado a una adopción masiva de billeteras digitales para la gestión de criptoactivos, creando oportunidades financieras sin precedentes, pero también incrementando los riesgos de ciberseguridad de manera significativa. Según estudios, ya hay más de 820 millones de billeteras activas [2] y 861 millones de usuarios de criptomonedas, lo que representa el 11% de la población mundial [3]. Sin embargo, este crecimiento se ha visto acompañado por un alarmante aumento en los ataques cibernéticos. Durante 2024, las pérdidas por hackeos en plataformas de criptomonedas superaron los 2.2 mil millones de dólares [4], con un incremento interanual del 21%, y en la primera mitad de 2025 esta cifra ya alcanzó los 2.17 mil millones [5]. Las estafas relacionadas con criptomonedas también alcanzaron cifras récord en 2024, estimándose entre 9.9 y 12.4 mil millones de dólares, potenciadas por el uso de inteligencia artificial generativa [6].

Esta situación revela una brecha crítica entre la adopción tecnológica y la implementación de mecanismos de seguridad proactivos. Las auditorías de seguridad en entornos blockchain tradicionalmente se realizan de forma manual, y generalmente, después del despliegue de los sistemas. Esto implica procesos costosos, lentos y con baja escalabilidad. Ante este panorama, emerge una necesidad imperante de soluciones innovadoras que combinen análisis inteligente y automatización avanzada.

En este trabajo se propone el diseño y desarrollo inicial de un agente auditor autónomo para detección proactiva de vulnerabilidades en billeteras virtuales y contratos inteligentes. Dicho agente combina dos tecnologías clave: n8n (plataforma open-source de orquestación de flujos low-code) y LangChain (framework para construir aplicaciones basadas en LLMs), creando un pipeline modular que gestiona la ingesta de código, el análisis, la correlación de hallazgos y la generación de reportes automatizados. Esta sinergia permite integrar análisis estático de código, aprendizaje automático y generación de informes en un flujo coordinado. El objetivo es ofrecer una solución escalable que complemente las auditorías tradicionales, mejorando su eficiencia y cobertura.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 2. Fundamentos Tecnológicos y Estado del Arte Actual

El desarrollo de un agente auditor autónomo en Web3 requiere integrar modelos de lenguaje, herramientas clásicas de análisis de seguridad y plataformas de automatización. El estado del arte muestra avances significativos en la detección de vulnerabilidades mediante LLMs[7], en frameworks de análisis estático y dinámico, y en la orquestación de flujos complejos. Sobre esta base, n8n y LangChain emergen como tecnologías clave para articular un pipeline modular que permita automatizar la auditoría de contratos inteligentes y aplicaciones de billeteras virtuales.

### 2.1 Modelos y herramientas open-source para auditoría de aplicaciones de billeteras virtuales

Las aplicaciones de billeteras virtuales (front-end móviles/web, APIs de back-end, SDKs) constituyen un objetivo de auditoría amplio. Para analizarlas se emplean enfoques complementarios:

#### 2.1.1 Modelos de lenguaje y embeddings

Existen modelos LLM pre-entrenados en código fuente (p. ej. CodeT5, CodeBERT, GraphCodeBERT) para generar representaciones semánticas (embeddings) de funciones o módulos de la aplicación. Estas representaciones alimentan clasificadores o detectores de patrones de vulnerabilidad. Frameworks neurosimbólicos como IRIS[8] integran LLM con análisis estático clásico para mejorar la semántica capturada. En estudios recientes, variantes optimizadas de CodeBERT han alcanzado F1 ≈93.5% en detección de fallos en contratos inteligentes, lo que ilustra el potencial de estos modelos en la identificación de errores de seguridad.

#### 2.1.2 Herramientas de análisis estático y composición

Existen numerosos SAST (Static Application Security Testing) open-source para examinar el código fuente de las aplicaciones de billeteras. Por ejemplo, Bandit (para código Python), Semgrep[10] (soporte multiplataforma) o CodeQL[11] (consulta de patrones con AST/graphs) permiten identificar vulnerabilidades conocidas mediante reglas predefinidas [12]. MobSF es un framework que combina análisis estático de código móvil y web con escaneo de seguridad integrado. Estas herramientas automatizan la detección de patrones inseguros (inyección SQL, XSS, etc.) y se integran en pipelines de CI/CD. Aunque muy útiles, tienden a producir falsos positivos si se usan en aislamiento, por lo que se recomienda complementar sus resultados con otros enfoques.

#### 2.1.3 Dinamismo y pruebas

Para complementar el análisis pasivo, se emplean técnicas de fuzzing y ejecución simbólica. Manticore (Trail of Bits) es capaz de hacer ejecución simbólica tanto de binarios como de contratos EVM, explorando caminos de ejecución para detectar fallos. Echidna[13] es un fuzzer de propiedades específico para contratos Solidity que genera entradas de prueba adaptativas. También existen entornos vulnerables de testing, como el OWASP Damn Vulnerable Crypto Wallet (DVCW) [14], que facilitan validar prototipos atacables sin necesidad de una wallet completa real. Estas herramientas permiten simular ataques (inyecciones de transacciones atípicas, condiciones de carrera, etc.) y observar comportamientos inseguros en tiempo de ejecución.

#### 2.1.4 Combinaciones posibles

Una estrategia efectiva es integrar las técnicas anteriores. Por ejemplo, se puede usar un encoder de código (p.ej. CodeBERT) junto con análisis estático de herramientas como CodeQL y Semgrep, uniendo detección semántica y búsqueda de patrones conocidos. Adicionalmente, frameworks como MobSF o PolyCoder pueden complementar el análisis en contextos móviles/web. La elección definitiva de herramientas se irá refinando a medida que avance la investigación y se ajusten a los requerimientos específicos de seguridad.

### 2.2 Auditoría de contratos inteligentes y blockchain

La seguridad de los contratos inteligentes es crítica, ya que su lógica es inmutable una vez desplegada y cualquier vulnerabilidad puede tener consecuencias financieras graves [15]. Incidentes como el ataque al DAO (2016) o el bloqueo de Parity Wallet (2017) evidencian el impacto económico de estos fallos.

#### 2.2.1 Requisitos de seguridad y puntos sensibles

Un contrato debe garantizar ausencia de vulnerabilidades críticas (reentrancy, desbordamientos, dependencias temporales), correcta gestión de permisos y roles, uso adecuado de librerías estándar (OpenZeppelin) y mecanismos de actualización o pausado.

Desde la perspectiva de un agente auditor, los aspectos clave son:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Gestión de funciones críticas y control de accesos.

Integridad aritmética y lógica de negocio.

Auditoría de flujos financieros (transfer, approve, withdraw).

Emisión de eventos para trazabilidad.

Seguridad en oráculos y dependencias externas.

Varios de estos puntos requieren de herramientas robustas para su cumplimiento, de las cuales se hace mención en las siguientes secciones.

#### 2.2.2 Herramientas de análisis estático y dinámico para contratos

Para contratos Solidity hay herramientas específicas bien establecidas. Slither[1] (Trail of Bits) es un analizador estático especializado que detecta patrones comunes de vulnerabilidad (reentrancy, overflow/underflow, fallas de visibilidad, uso inseguro de PRNG, etc.), produciendo un reporte categorizado por severidad. Mythril emplea ejecución simbólica y heurísticas para encontrar fallos más complejos; puede complementarse con herramientas como Oyente o Manticore. Otros SAST incluyen Securify y SmartCheck, que analizan código Solidity con reglas de seguridad. Para pruebas dinámicas, se usan fuzzers como Echidna[13] o pruebas en entornos controlados: por ejemplo, desplegar contratos en testnets (Goerli, Sepolia) y simular transacciones adversas (reentrancy, manipulación de oráculos, etc.). Estos métodos permiten validar el comportamiento en tiempo de ejecución y descubrir fallos que no aparecen en análisis estático.

#### 2.2.3 Modelos de lenguaje y enfoques avanzados

Recientemente han surgido modelos de lenguaje y frameworks avanzados específicamente entrenados en código de contratos. Por ejemplo, variaciones de BERT pre-entrenadas en Solidity (SmartBERT/SmartMix) implementan estrategias Mixture of Experts para mejorar su rendimiento. Una propuesta destacada, Lightning Cat[9] (optimizaciones de CodeBERT), alcanzó una F1 de 93.53% en el dataset SolidiFI[16], superando los detectores tradicionales. Además, se exploran enfoques multiagente (LLM-SmartAudit), donde múltiples modelos de lenguaje colaboran en detectar vulnerabilidades lógicas complejas. Proyectos actuales como GPTScan (ICSE 2024) y MOS (2025) integran LLMs con análisis de programa especializado. Estas investigaciones buscan combinar la comprensión semántica profunda de los LLM con la precisión de técnicas clásicas, ganando eficacia en la detección de fallas críticas [17, 18].

#### 2.2.4 Datasets y recursos para entrenamiento

**SolidiFI-benchmark**: 9.369 contratos con bugs inyectados y resultados comparativos de varias herramientas.

**EVuLLM[19]**: fragmentos de contratos con vulnerabilidades reales e inyectadas, preparado para fine-tuning.

**Datasets reales**: contratos descargados de Etherscan y etiquetados en función de incidentes históricos.

**CWE-Bench-Java**: 120 CVEs en Java, útil para generalizar a vulnerabilidades de software críticas.

#### 2.2.5 Combinaciones posibles e integraciones

Una combinación inicial podría integrar análisis estático (Slither, Mythril) con modelos LLM (Optimized CodeBERT, Detect Llama[20]) y fuzzing (Echidna, Manticore), correlando resultados mediante un modelo unificador (LLaMA-2, Qwen, Mistral). Este enfoque busca aprovechar la detección estructural de vulnerabilidades conocidas junto con el análisis semántico avanzado. No obstante, la selección y refinamiento de herramientas se definirá conforme avance la investigación y los experimentos empíricos.

### 2.3 Investigación sobre herramientas de automatización y flujos

Para transformar las distintas técnicas y modelos en un auditor autónomo, se requiere un pipeline modular que gestione la ingesta de código, el análisis, la correlación de hallazgos y la generación de reportes. El esquema ampliado debe incluir una serie de herramientas que permita cumplir con lo siguiente:

**Ingesta de código**

En esta instancia se provee al agente del material a auditar: contratos inteligentes (código o bytecode) y, cuando corresponde, componentes de la billetera (front-end, back-end, SDKs) y referencias on-chain.

**Análisis estático inicial**

Sin ejecutar el sistema, el agente recorre el código para localizar patrones de vulnerabilidad y malas prácticas, anota ubicación precisa (archivo/función/líneas) y clasifica por severidad/confianza. El objetivo es producir una lista estructurada de hallazgos que sirva como base para validaciones y priorización, reduciendo falsos positivos mediante reglas y contexto del proyecto. Algunas herramientas para esta fase:

Smart contracts: uso de Slither, Oyente, Mythril y Securify.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



SmartAudit: agentes especializados interactúan y validan hallazgos.

Explicación: modelos instructivos (Detect Llama-Instruct, LLaMA-2 chat) explican vulnerabilidades y sugieren mitigaciones.

**Análisis dinámico y pruebas**

El sistema valida en ejecución lo identificado estáticamente y explora fallos de runtime no visibles a simple vista. Se reproducen escenarios adversos y PoCs controladas (en entornos de prueba o testnets), cubriendo flujos críticos (transferencias, retiros, oráculos, permisos). Pueden implementarse herramientas como:

Fuzzing y ejecución simbólica: con Echidna y Manticore.

Simulación de ataques: despliegue en testnets (Goerli, Sepolia[23]) y pruebas de reentrancy, manipulación de oráculos, etc.

Pruebas de integración: instrumentación de flujos de usuario y captura de llamadas Web3.

**Correlación y priorización**

Se fusionan los resultados estáticos, dinámicos y explicativos, se eliminan duplicados y se pondera el riesgo (impacto potencial, alcance, explotabilidad, privilegios requeridos). El propósito es transformar hallazgos dispersos en un backlog ordenado, con racional de priorización y vínculos a la evidencia correspondiente, habilitando decisiones inmediatas.

**Reporte y explicación**

Consolidando todo lo anterior, se genera automáticamente un informe reproducible con resumen ejecutivo, metodología, hallazgos priorizados, ubicaciones en código, evidencias/PoCs y recomendaciones accionables. La salida debe ser portable y auditable (p.ej., Markdown/PDF) e incluir enlaces a artefactos y snapshots para trazabilidad.

Este pipeline constituye una base sobre la cual implementar un sistema de auditoría autónoma. Para llevarlo a la práctica, es necesario integrar herramientas que permitan orquestar flujos complejos y aprovechar las capacidades de modelos de lenguaje. En este contexto, destacan n8n como plataforma de automatización y LangChain como marco de inteligencia contextual, cuya combinación permite estructurar e implementar el flujo del agente auditor.

### 2.3.1 n8n: La Columna Vertebral de la Automatización

n8n es una plataforma de automatización de flujos de trabajo de código abierto (open-source) que facilita la orquestación de tareas y la conexión con múltiples servicios mediante una interfaz visual de nodos interconectados [21]. A diferencia de herramientas SaaS propietarias como Zapier, n8n puede ser auto-alojado en entornos locales o servidores propios, lo que proporciona control total sobre los datos, la seguridad y el desempeño de las automatizaciones.

Entre sus **características clave** se destacan:

**Open source y self-hosted**: control total sobre privacidad y cumplimiento.

**Interfaz visual low-code**: flujos con nodos personalizables y lógica en JS.

**Integraciones amplias**: conectores listos y soporte para cualquier API.

**Ejecución flexible**: manual, programada o por eventos, con manejo de procesos complejos.

### 2.3.2 LangChain: Inteligencia Artificial para el Análisis Contextual

LangChain es un marco de desarrollo diseñado para que los modelos de lenguaje (LLMs) interactúen con datos externos y ejecuten tareas complejas mediante cadenas lógicas de razonamiento [22]. Integrado con n8n, permite automatizar flujos donde LangChain analiza y detecta vulnerabilidades, mientras n8n gestiona acciones como alertas o reportes, logrando procesos más eficientes y seguros.

Nacido para simplificar la creación de aplicaciones basadas en LLMs, LangChain posibilita que los modelos realicen acciones con datos de forma secuencial, creando flujos conversacionales complejos y escalables que superan las limitaciones de los modelos tradicionales de pregunta-respuesta como GPT.

Entre sus principales fortalezas destacan:

**Modularidad**: integración flexible de componentes como prompt templates, chains, agents y memory.

**Compatibilidad**: soporte para múltiples modelos.

**Ecosistema activo**: amplia comunidad, conectores y ejemplos prácticos.

**Interoperabilidad**: integración con bases de datos, APIs y herramientas de automatización.

A diferencia de un chatbot aislado, LangChain ofrece memoria contextual, acceso a fuentes externas y capacidad de ejecutar acciones, lo que lo convierte en una pieza clave para aplicaciones complejas con interacción dinámica.

## 3. Propuesta de Arquitectura del Agente Auditor Autónomo

Se propone una **arquitectura modular** para el agente auditor autónomo, orquestada centralmente por n8n, que abarca el pipeline completo de auditoría

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



automática: desde la ingesta del código o objetivo a auditar hasta la distribución del informe final.

### 3.1 Fases del Pipeline de Auditoría

El flujo de auditoría se describe en las siguientes etapas, indicando las herramientas integradas en cada módulo:

**Ingesta de datos**: Esta fase inicial prepara la entrada al sistema. Puede implementarse un disparador HTTP (webhook) en n8n que reciba el código fuente de un contrato inteligente (en Solidity) o una referencia a este (por ejemplo, un repositorio Git o una dirección de contrato desplegado). Alternativamente, la ingesta puede ser manual o programada. El objetivo es obtener el artefacto a analizar (código fuente Solidity, bytecode e información de la billetera virtual asociada) y pasarlo al siguiente paso del flujo.

**Análisis estático de contratos**: En esta etapa, el agente realiza un escaneo estático del código en busca de vulnerabilidades conocidas, sin ejecutarlo. Se integra la herramienta Slither (framework de análisis estático para Solidity) dentro de n8n, por ejemplo, mediante un nodo "Execute Command". Slither es un analizador estático open source que detecta vulnerabilidades comunes en contratos (reentrancy, sobre/underflows, problemas de visibilidad, uso de PRNG inseguros, etc.). La salida de Slither es un reporte de hallazgos categorizados por severidad (rojo para críticas, amarillo para medias, verde para bajas).

**Análisis dinámico (ejecución y pruebas)**: Complementando el análisis estático, el agente puede realizar un análisis dinámico desplegando el contrato inteligente en un entorno controlado y simulando operaciones en busca de fallas en tiempo de ejecución. Para esto, n8n integraría herramientas o scripts de prueba sobre una red de prueba Ethereum (testnet) como Sepolia[23], que replica las condiciones de Ethereum mainnet y es ideal para desplegar contratos de forma segura. Por ejemplo, se puede emplear Foundry[24] para orquestar dichas pruebas.

**Procesamiento de resultados**: Con la información de los análisis estático y dinámico, el flujo normaliza y consolida los hallazgos. Se emplean nodos de función (JavaScript) o transformaciones en n8n para parsear los resultados brutos de Slither (por ejemplo, convertir la salida en JSON o texto a una lista estructurada de vulnerabilidades) y combinarlos con datos del análisis dinámico. Es posible filtrar duplicados o falsos positivos, priorizar vulnerabilidades por criticidad y añadir metadatos. Opcionalmente, se puede incorporar un nodo de recuperación semántica para buscar en bases de conocimiento de seguridad (OWASP, CWE)[25] y adjuntar explicaciones o recomendaciones estándar a cada vulnerabilidad detectada.

### 3.2 Prueba de Concepto Funcional (POC)

Con el objetivo de validar la viabilidad de la arquitectura propuesta, se desarrolló una prueba de concepto funcional (POC). Este prototipo demuestra el flujo esencial de auditoría de contratos inteligentes en Solidity, integrando n8n como plataforma de orquestación. La POC funciona como primera versión operativa, confirmando la factibilidad técnica del enfoque.

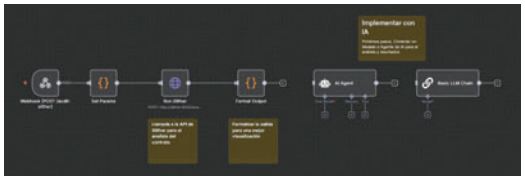


Figura 1. POC en n8n

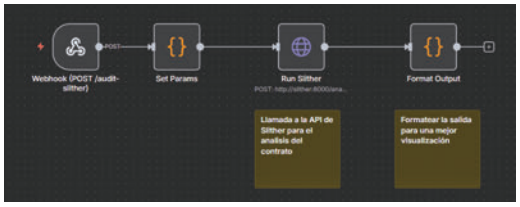



Figura 1A: detalle parcial Figura 1

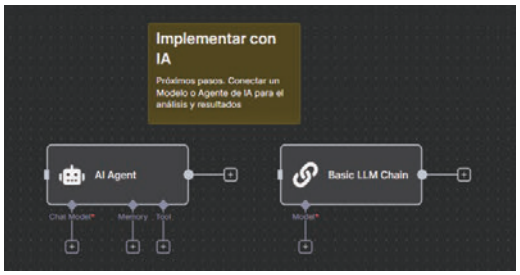



Figura 1B: detalle parcial Figura 1

Las principales consideraciones de esta POC son:

**Alcance focalizado**: la auditoría se limita a contratos escritos en Solidity, lenguaje predominante en Ethereum y billeteras Web3. No se aborda la aplicación cliente de la billetera, sino únicamente el contrato inteligente, lo que acota el problema y permite resultados inmediatos utilizando herramientas consolidadas como Slither.

**Integración de Slither y resumen con LLM**: la POC conecta n8n con Slither para ejecutar análisis estático y con un modelo de lenguaje [26] para generar resúmenes de hallazgos.

El flujo mínimo viable implementado en n8n incluye:

**Trigger de entrada**: un nodo Manual Trigger o Webhook que recibe el código fuente de un contrato Solidity (archivo .sol o URL de GitHub).

**Set Params**: un nodo encargado de formatear los parámetros de la solicitud HTTP a un JSON estándar.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Ejecución de análisis estático (API Slither)**: un nodo HTTP Request que realiza un POST a la API de Slither, la cual corre en un contenedor Docker y devuelve un reporte de vulnerabilidades en JSON o Markdown en segundos.

**Procesamiento de resultados**: un nodo Function que interpreta la salida de Slither, extrayendo vulnerabilidades relevantes (tipo, severidad, ubicación y descripción). Se filtran hallazgos de baja relevancia para priorizar advertencias significativas. La salida final es una colección estructurada de hallazgos, lista para ser utilizada por modelos de lenguaje en pasos posteriores. Se incluye la imagen que muestra la salida en formato Markdown, junto a cómo se vería su visualización en dicho formato legible.

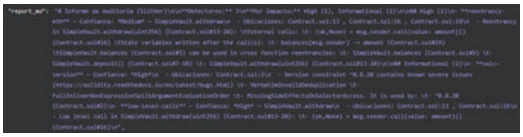


Figura 2. Salida del pipeline

*Transcripción de la imagen:*

*"Informe de Auditoría (Slither)*

***Detectores:** 3. **Por impacto:** High (1), Informational (2).*

***High (1) — reentrancy-eth** (Confianza: Medium) en SimpleVault.withdraw.*
*Ubicaciones: Contract.sol:13, Contract.sol:16, #ontract.sol:19.*
*Descripción: reentranc- en Simple&ault.withdraw(uint256) (Contract.sol 13–20). Llamadas e2ternas: (ok, None) = msg.sender.call67alue: amount8() (Contract.sol:16). &ariables de estado escritas después de la llamada: balances[msg.sender] -= amount (Contract.sol:19). Simple&ault.balances (Contract.sol:5) puede usarse en reentrancias entre funciones: Simple&ault.balances (Contract.sol:5), Simple&ault.deposit() (Contract.sol:7–10) y Simple&ault.withdraw(uint256) (Contract.sol:13–20).*

***Informational (1) — solc-version** (Confianza: High).*
*Ubicaciones: Contract.sol:2. Advertencia: la restricción de versión ^0.8.20 contiene issues se7eros conocidos (https://solidit-.readthedocs.io/en/latest/bugs.html), entre ellos VerbatimInvalidDeduplication, AullInlinerNonE2pressionSplitArgumentB7aluationOrder y MissingSideBffectsOnSelectorAccess. Usado por: >0.8.20 (Contract.sol:2).*

***Informational (2) — low-level-calls** (Confianza: High) en Simple&ault.withdraw.*
*Ubicaciones: Contract.sol:13, Contract.sol:16.*
*Detalle: llamada de bajo ni7el en Simple&ault.withdraw(uint256) (Contract.sol:13–20): (ok, None) = msg.sender.call67alue: amount8() (Contract.sol:16)."*

## 4. Conclusiones

El ecosistema Web3, a pesar de su potencial, enfrenta serios desafíos de ciberseguridad debido a vulnerabilidades explotadas en contratos inteligentes y aplicaciones asociadas. La dependencia de auditorías manuales, costosas y poco escalables, ha demostrado ser insuficiente frente a la creciente sofisticación de los ataques.

Este trabajo propone un enfoque alternativo mediante la construcción de un agente auditor autónomo, basado en la integración de n8n para la orquestación de flujos y LangChain para el análisis contextual con modelos de lenguaje. La arquitectura modular permite cubrir todas las fases de auditoría, desde la ingesta de código y el análisis estático y dinámico, hasta el procesamiento de resultados y su preparación para generar reportes.

La prueba de concepto funcional (POC) validó la viabilidad técnica de este enfoque, demostrando la capacidad de detectar vulnerabilidades críticas, como el patrón clásico de reentrancia en Solidity, utilizando herramientas consolidadas como Slither junto con modelos open-source.

### Trabajos futuros

Generación de informes completos: se proyecta que el flujo evolucione hacia la creación de reportes de auditoría integrales, basados en los resultados obtenidos en cada fase, con explicaciones y recomendaciones estandarizadas.

Extensión a aplicaciones de billeteras virtuales: incorporar herramientas como MobSF, Bandit, Bearer y PMD para cubrir el análisis de clientes móviles/web y sus backends, ampliando la cobertura de seguridad.

Mejora de las capacidades de IA con LangChain: potenciar el uso de LLMs para ofrecer explicaciones más precisas, análisis de causa raíz y sugerencias de mitigación. En fases posteriores, podría evaluarse la colaboración entre agentes especializados en distintos tipos de vulnerabilidad, aunque de manera más gradual y acotada que las propuestas de multiagente actuales.

Aprendizaje adaptativo y seguridad comportamental: explorar técnicas que permitan al agente actualizarse en función de nuevos patrones de ataque y vulnerabilidades emergentes, integrando datasets reales y fuentes de threat intelligence.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Expansión a otros ecosistemas blockchain: adaptar la arquitectura a lenguajes y entornos distintos de Ethereum (por ejemplo, Vyper o Rust en Solana), extendiendo la aplicabilidad de la propuesta.

## Referencias

[1] Trail of Bits, Slither: Static Analyzer for Solidity and Vyper, GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/crytic/slither

[2] Elad, B., "Cryptocurrency Wallet Adoption Statistics 2025: E-Commerce, Payments & Regional Growth", CoinLaw, 23 de julio de 2025. Disponible en: https://coinlaw.io/cryptocurrency-wallet-adoption-statistics/

[3] ZoneWallet, "2025 Crypto User Growth", ZoneWallet.io, 2025. Disponible en: https://www.zonewallet.io/en/article/2025-crypto-user-growth

[4] Reuters, "Losses from crypto hacks jump to $2.2 billion in 2024, report says", Reuters Technology, 19 de diciembre de 2024. Disponible en: https://www.reuters.com/technology/losses-crypto-hacks-jump-2-2-bln-2024-report-says-2024-12-19/

[5] Times of India, "Crypto security: Crypto thefts in 2025 surpass $2.17 billion; India's CoinDCX breach adds to global surge driven by Bybit mega heist", Times of India Business, 23 de febrero de 2025. Disponible en: https://timesofindia.indiatimes.com/business/india-business/crypto-security-crypto-thefts-in-2025-surpass-2-17-billion-indias-coindcx-breach-adds-to-global-surge-driven-by-bybit-mega-heist/articleshow/122816849.cms

[6] Reuters, "Crypto scams likely set new record in 2024 helped by AI, Chainalysis says", Reuters Technology, 14 de febrero de 2025. Disponible en: https://www.reuters.com/technology/crypto-scams-likely-set-new-record-2024-helped-by-ai-chainalysis-says-2025-02-14/

[7] Huhusmang, Awesome LLMs for Vulnerability Detection, GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/huhusmang/Awesome-LLMs-for-Vulnerability-Detection

[8] IRIS Project, IRIS: A neurosymbolic framework for vulnerability detection, GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/iris-sast/iris

[9] Zhang, J. et al., "Lightning Cat: Deep learning-based solution for smart contract vulnerabilities", Nature Scientific Reports, 2023. Disponible en: https://www.nature.com/articles/s41598-023-47219-0

[10] Semgrep, Semgrep: semantic code analysis engine, GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/semgrep/semgrep

[11] GitHub Security Lab, CodeQL Overview, 2025. Disponible en: https://codeql.github.com/docs/codeql-overview/about-codeql/

[12] OWASP Foundation, Source Code Analysis Tools – lista de herramientas SAST y consideraciones, OWASP.org, 2025. Disponible en: https://owasp.org

[13] Trail of Bits, Echidna – Ethereum smart contract fuzzer, GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/crytic/echidna

[14] Etsploit, Damn Vulnerable Crypto Wallet (DVCW), GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/etsploit/dvcw

[15] Etherscan y Dune Analytics, Contratos reales y análisis de transacciones de ataques, 2025. Disponible en: https://etherscan.io y https://dune.com

[16] Dependable Systems Lab, SolidiFI-benchmark dataset, GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/DependableSystemsLab/SolidiFI-benchmark

[17] Li, X. et al., "Code Vulnerability Detection: Comparative Analysis of Emerging LLMs", arXiv preprint arXiv:2409.10490, 2024. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2409.10490

[18] SakiRinn, LLM4CVD: Investigating Large Language Models for Code Vulnerability Detection, GitHub repository, 2025. Disponible en: https://github.com/SakiRinn/LLM4CVD

[19] Mandala, E. et al., "EVuLLM: Ethereum Smart Contract Vulnerability Detection Using Large Language Models", Electronics, vol. 14, no. 16, art. 3226, 2025. Disponible en: https://doi.org/10.3390/electronics14163226

[20] Detect Llama Project, "Smart contract vulnerability detection", arXiv preprint arXiv:2407.08969, 2024. Disponible en: https://arxiv.org/abs/2407.08969

[21] n8n.io, n8n Documentation, 2023. Recuperado el 26 de agosto de 2025. Disponible en: https://docs.n8n.io

[22] Chase, H., LangChain: Building applications with large language models, GitHub repository, 2022. Recuperado el 26 de agosto de 2025. Disponible en: https://github.com/langchain-ai/langchain

[23] GetBlock, "What is Sepolia? A Beginner's Guide to Ethereum Test Networks", Medium, 2025. Disponible en: https://getblock.medium.com/what-is-sepolia-a-beginners-guide-to-ethereum-test-networks-866663a26698

[24] Chainstack, "Introduction to smart contract auditing using Foundry", Chainstack Docs, 2025. Disponible en: https://docs.chainstack.com/docs/introduction-to-smart-contract-manual-auditing-with-foundry-and-slither

[25] MITRE, CWE Top 25 y OWASP Top Ten – Enumeraciones de debilidades y vulnerabilidades, 2025. Disponible en: https://cwe.mitre.org

[26] n8n.io, "How to Run a Local LLM: Complete Guide to Setup & Best Models (2025)", n8n Blog, 2025. Disponible en: https://blog.n8n.io/local-llm/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# A Pseudorandom Binary Generator Consisting of a Combination of Self Shrinking Generator Using Boolean Functions and 2-Interlaced Sequences

Andrés Francisco Farías
*National University of La Rioja*
*afarias665@yahoo.com.ar*

Germán Antonio Montejano
*National University of San Luis*
*gmonte@unsl.edu.ar*

Ana Gabriela Garis
*National University of San Luis*
*agaris@gmail.com*

Daniel Riesco
*National University of San Luis*
*driesco@unsl.edu.ar*

Andrés Alejandro Farías
*National University of La Rioja*
*andres_af86@hotmail.com*

## Abstract

*This paper develops the procedure for the construction of a Pseudorandom Binary Generator Consisting of a Combination of Self Shrinking Generator Using Boolean Functions and 2-Interlaced Sequences. The process includes: characteristics of the Self Shrinking Generator, definition of the model, choice of the different LFSR, selection of Boolean functions based on their optimal cryptographic properties, construction of the generator with the selected components, key and the procedure to generate them, choice of the statistical tests to be used and the criteria for analyzing the results, implementation and performance of the necessary randomness tests on the sequences obtained.*

## Introduction

Binary pseudorandom generators must produce good sequences. They must also be unpredictable and easy to use, and they must have a period that is long enough.

It is in these terms that a model is proposed that responds to such demands. The chosen modality is based on the non-linear combination of generators made up of Self Shrinking Generator [1], [2].

## Steps for generator design

There are a few steps involved in making a pseudo-random generator:

- Definition of the model
- Components
  - Characteristics of Self Shrinking Generator.
  - Selection of the different LFSR, the basis of the system.
  - Selection of four-variable Boolean functions based on their optimal cryptographic properties.
- Composition of the generator with the components already selected.
- Key
  - Key and the procedure to generate the initial states of the LFSR
  - Permutations
  - Generation of initial states
- Tests of Randomness
  - Choice of Statistical Tests
  - Tests on the Generator
  - Results Analysis

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Definition of the model

The generator proposed in this work is made up of eight Self Shrinking Generator, which deliver pseudo-random binary sequences, figure 1.

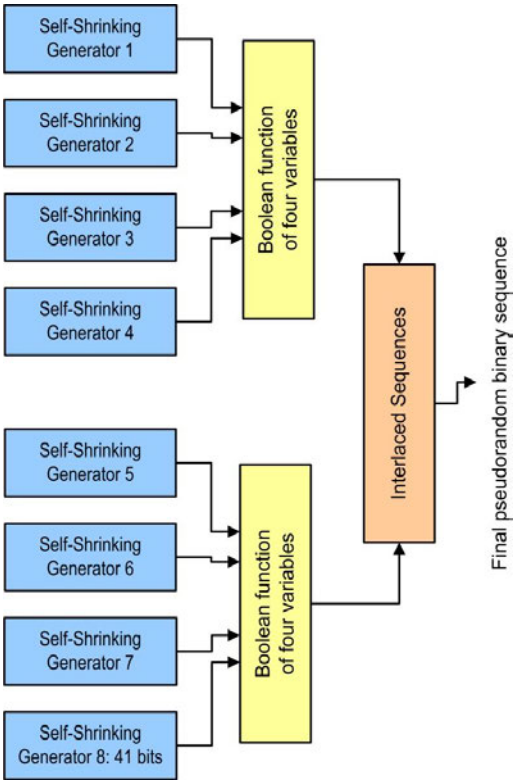



**Figure 1. Pseudorandom Binary Generator scheme**

There are two Boolean functions that combine four binary sequences each, giving r resulting sequences. They are then combined using a -input 2-interlaced sequences to obtain the final sequence.

## Components

### Characteristics of the Self-Shrinking Generators (SSGs)

The proposed SSG shrinks two bits of an LFSR sequence to one output bit. For the binary sequence generated by an LFSR $(x) = x_0\, x_1\, x_2 \ldots$, let $(y) = y_0\, y_1 \ldots$ be the corresponding self-shrunken sequence. Consider two consecutive bits of $(x), (x_{2i}, x_{2i+1})$. If $x_{2i}$ is 1, then $x_{2i+1}$ is output. If $x_{2i}$ is 0, then is discarded [3], [4].

The truth table for this generator, in Table 1.

**Table 1.** The truth table for this SSGs

| $x_{2i}$ | $x_{2i+1}$ | $y_i$ |
|---|---|---|
| 0 | 0 | No output |
| 0 | 1 | No output |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

### Selection of the different LFSR

First, the LFSR that make up each LFSR are established, the lengths and primitive polynomials of each of them are the following [3], [4], [5], table 2 .

**Table 2. LFSR, lengths and primitive polynomials of the Generator**

| LFSR | L | Primitive polynomials |
|---|---|---|
| 1 | 47 | $P(x)_1 = x^{47} + x^{42} + x^{32} + x^{19} + x^{17} + x^5 + 1$ |
| 2 | 31 | $P(x)_2 = x^{31} + x^{16} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^1 + 1$ |
| 3 | 59 | $P(x)_3 = x^{59} + x^{53} + x^{45} + x^{34} + x^{22} + x^{21} + 1$ |
| 4 | 53 | $P(x)_4 = x^{53} + x^{51} + x^{37} + x^{29} + x^{18} + x^4 + 1$ |
| 5 | 61 | $P(x)_5 = x^{61} + x^{59} + x^{52} + x^{47} + x^{38} + x^{33} + 1$ |
| 6 | 37 | $P(x)_6 = x^{37} + x^{33} + x^{31} + x^{30} + x^{21} + x^3 + 1$ |
| 7 | 43 | $P(x)_7 = x^{43} + x^{35} + x^{32} + x^{30} + x^{25} + x^8 + 1$ |
| 8 | 41 | $P(x)_8 = x^{41} + x^{40} + x^{32} + x^{20} + x^{12} + x^{11} + 1$ |

### Selecting Boolean Functions

#### Desirable cryptographic properties

A Below are some of the most cryptographically significant properties, adopted for this work [7], [8], [9]:

- Balanced Function (B)
- High non-linearity (NL)
- Meets strict avalanche criteria (SAC)

Following the criteria indicated above, the accepted Boolean functions are shown in table 3:

**Table 3. Four-variable functions accepted for the generator**

| $f_{NAF}$ | B | NL | SAC |
|---|---|---|---|
| $f_{1316} = b \oplus a \cdot b \oplus b \cdot c \oplus d \oplus b \cdot d$ | yes | 4 | yes |
| $f_{2365} = b \oplus a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus a \cdot d \oplus b \cdot d$ | yes | 4 | yes |

## Formation of the combinational generator

The combinational generator is as follows, figure 2

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



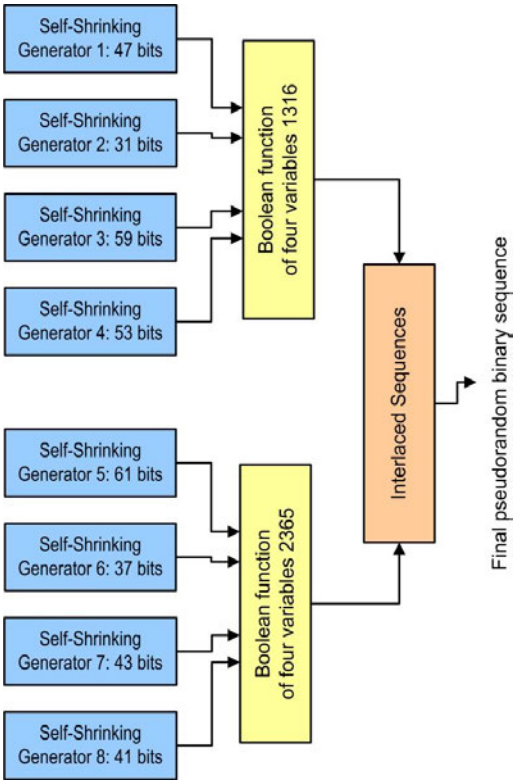



**Figure 2. Pseudorandom Binary Generator**

## Key

To create the initial states of the different LFSRs, a process is carried out that uses a key with a length of 32 characters, which expressed in ASCII code (American Standard Code for Information Interchange), has a length of 256 bits.

To simplify the procedure for choosing the key, only the letters of the English alphabet (lower and upper case) and the numbers of the decimal numbering system are accepted, that is, a total of 62 characters.

The key is subjected to a cryptographic process, which is indicated in figure 4:

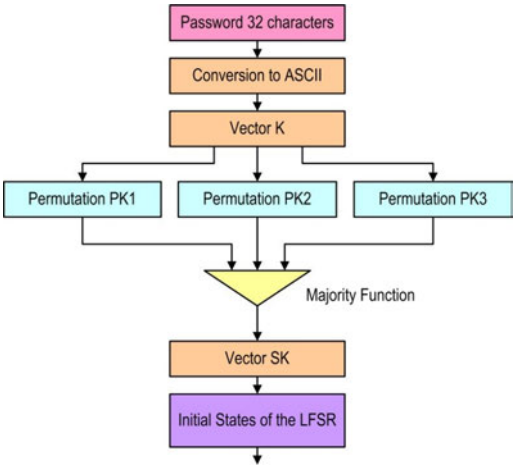



**Figure 3. Generator for initial states**

## Permutations

Multiplicative congruential generator: The generator has the following expression: [9]

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i)\, mod\, m_x \qquad (4)$$

Where:

$$a_x = multiplier$$
$$m_x = module$$
$$x_0 = seed$$

In table 4:

**Table 4. Vectors, modules, multipliers and seeds**

| Vector | module | multiplier | seed |
|---|---|---|---|
| PK1 | 1048573 | 2281 | 1553 |
| PK2 | 1048573 | 2281 | 1559 |
| PK3 | 1048573 | 2281 | 1567 |

## Generation of initial states

The majority function processes the three vectors K1,K2,K3, resulting in a 256-bit vector SK[j], which will provide the initial states of the NLFSR, in a sequential manner.

## Tests of Randomness

### Choice of Statistical Tests

The statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications was selected from the National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 800-22 revision

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



1a, from the work of Rukhin (et al.) [10]. Table 5 shows the statistical tests for random and pseudo-random numbers that make up the package.

**Table 5. Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number**

| | Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number |
|---|---|
| 1 | Frequency (Monobit) |
| 2 | Frequency Test within a Block |
| 3 | Approximate Entropy Test |
| 4 | Cumulative Sums Test |
| 5 | Runs Test |
| 6 | Serial Test |
| 7 | Maurer's "Universal Statistical" Test |
| 8 | Non-overlapping Template Matching Test |
| 9 | Linear Complexity Test |
| 10 | Discrete Fourier Transform (Spectral) Test |

## Tests on the Generator

One hundred binary sequences of 1,000,000 bits were analyzed, obtained from the generator from one hundred different keys.

The significance level adopted for the statistical tests is: $\alpha = 0.01$

The null hypothesis is: $H_0 \rightarrow p\_value > 0.01$

## Results Analysis

Following the directives of NIST 800-22, having the results, two processes are carried out to interpret them:

- Proportion of samples that pass tests.
- Test for Uniformity of p-value

## Proportion of samples that pass tests

To analyze the results, the proportion of samples that pass the tests is determined, and with this data a point graph is constructed, where it must be met that all points are within the upper and lower limits, to accept that the tests were successful.

$$LS, LI = (1-\alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\frac{\alpha(1-\alpha)}{k}}$$

In our case: $k = 100$, and the chosen significance level is: $\alpha = 0.01$.

All tests are considered and the results are indicated in table 6:

**Table 6. Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number**

| | Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number | Pass | Ratio | Upper | Lower |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Frequency (Monobit) | 98 | 0.98 | 1.02 | 0.96 |
| 2 | Frequency Test within a Block | 100 | 1.00 | 1.02 | 0.96 |
| 3 | Approximate Entropy Test | 99 | 0.99 | 1.02 | 0.96 |
| 4 | Cumulative Sums Test | 97 | 0.97 | 1.02 | 0.96 |
| 5 | Runs Test | 98 | 0.98 | 1.02 | 0.96 |
| 6 | Serial Test | 100 | 1.00 | 1.02 | 0.96 |
| 7 | Maurer's "Universal Statistical" Test | 98 | 0.98 | 1.02 | 0.96 |
| 8 | Non-overlapping Template Matching Test | 99 | 0.99 | 1.02 | 0.96 |
| 9 | Linear Complexity Test | 99 | 0.99 | 1.02 | 0.96 |
| 10 | Discrete Fourier Transform (Spectral) Test | 97 | 0.97 | 1.02 | 0.96 |

The result can be seen in the graph, the points are within the acceptance limits, finally the sequences delivered by the generator pass the randomness tests, in figure 5:

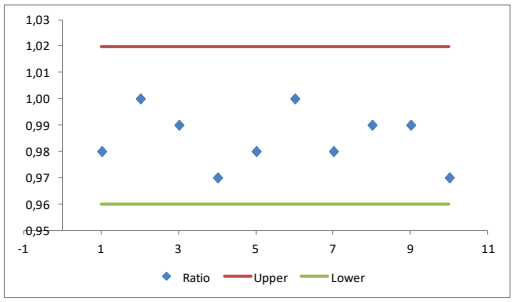



**Figure. 4. Dot plot of tests 1 to 10**

## Uniform distribution of P-value

This control is run for each test with the two procedures: frequency table with histogram and goodness-of-fit test.

### Frequency (Monobit)

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 7. Frequency table and $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 10 | 0,00 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 10 | 0,00 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 8 | 0,40 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 9 | 0,10 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 17 | 4,90 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 12 | 0,40 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 5 | 2,50 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 9 | 0,10 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 6 | 1,60 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 14 | 1,60 |
| | | | Total | 100 | 11,60 |
| | | | | p_value | 024 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}24 \geq 0{,}0001$$

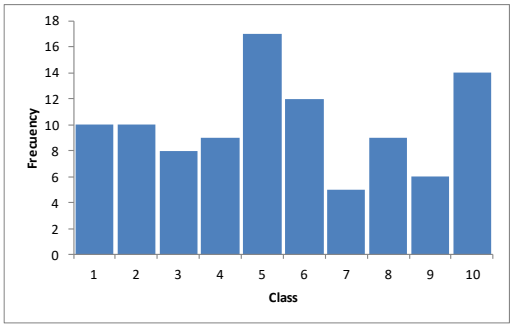



**Figure 5. Histogram**

### Frequency Test within a Block

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 8. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 9 | 0,10 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 8 | 0,40 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 4 | 3,60 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 14 | 1,60 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 15 | 2,50 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 9 | 0,10 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 10 | 0,00 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 11 | 0,10 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 10 | 0,00 |
| | | | Total | 100 | 8,40 |
| | | | | p_value | 0,494 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}494 \geq 0{,}0001$$

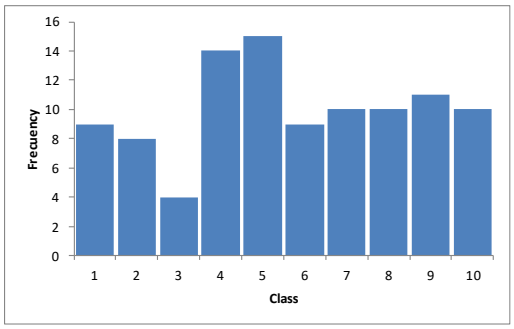



**Figure 6. Histogram**

### Approximate Entropy Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 9. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 13 | 0,90 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 18 | 6,40 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 7 | 0,90 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 13 | 0,90 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 8 | 0,40 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 3 | 4,90 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 13 | 0,90 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 12 | 0,40 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 8 | 0,40 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 5 | 2,50 |
| | | | Total | 100 | 18,60 |
| | | | | p_value | 0,029 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}029 \geq 0{,}0001$$

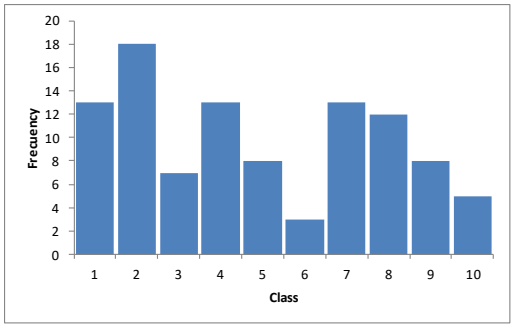



**Figure 7. Histogram**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Cumulative Sums Test**

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 10. Frequency table and $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 9 | 0,10 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 13 | 0,90 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 6 | 1,60 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 5 | 2,50 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 10 | 0,00 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 8 | 0,40 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 14 | 1,60 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 9 | 0,10 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 14 | 1,60 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 12 | 0,40 |
| | | | Total | 100 | 9,20 |
| | | | | p_value | 0,419 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}419 \geq 0{,}0001$$

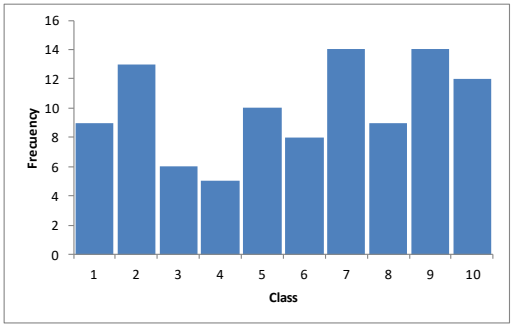



**Figure 8. Histogram**

**Runs Test**

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Tabla 11. Tabla de frecuencias y $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 13 | 0,90 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 11 | 0,10 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 15 | 2,50 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 11 | 0,10 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 9 | 0,10 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 4 | 3,60 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 12 | 0,40 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 8 | 0,40 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 7 | 0,90 |
| | | | Total | 100 | 9,00 |
| | | | | p_value | 0,437 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}437 \geq 0{,}0001$$

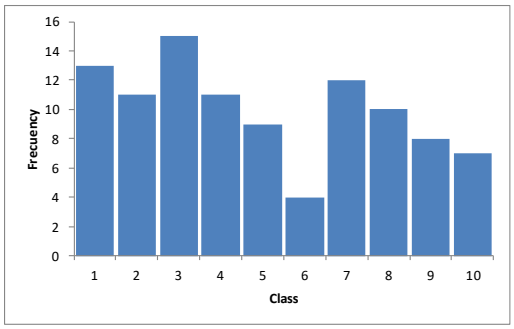



**Figure 9. Histogram**

**Serial Test**

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 12. Frequency table and $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 12 | 0,40 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 8 | 0,40 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 10 | 0,00 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 11 | 0,10 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 9 | 0,10 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 9 | 0,10 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 11 | 0,10 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 12 | 0,40 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 8 | 0,40 |
| | | | Total | 100 | 2,00 |
| | | | | p_value | 0,991 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}991 \geq 0{,}0001$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



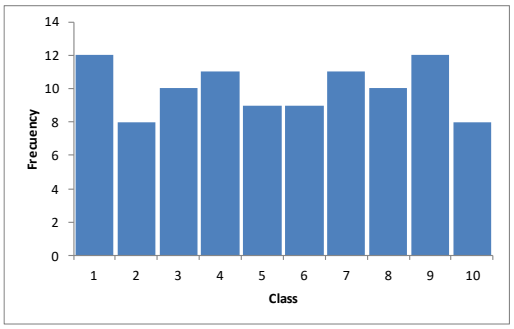



**Figure 10. Histogram**

### Maurer's "Universal Statistical" Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 13 Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 13 | 0,90 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 11 | 0,10 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 15 | 2,50 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 11 | 0,10 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 9 | 0,10 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 4 | 3,60 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 12 | 0,40 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 8 | 0,40 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 7 | 0,90 |
| | | | Total | 100 | 9,00 |
| | | | | p_value | 0,437 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}437 \geq 0{,}0001$$

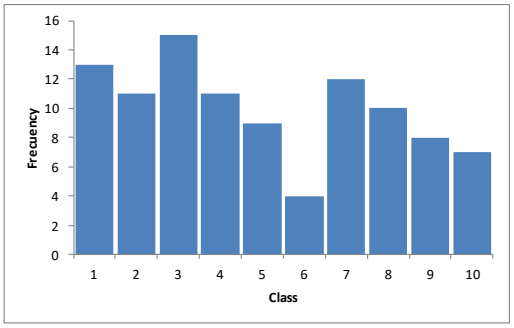



**Figure 11. Histogram**

### Non-overlapping Template Matching Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 14. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 9 | 0,10 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 9 | 0,10 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 9 | 0,10 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 10 | 0,00 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 10 | 0,00 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 9 | 0,10 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 14 | 1,60 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 7 | 0,90 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 11 | 0,10 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 12 | 0,40 |
| | | | Total | 100 | 3,40 |
| | | | | p_value | 0,946 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}946 \geq 0{,}0001$$

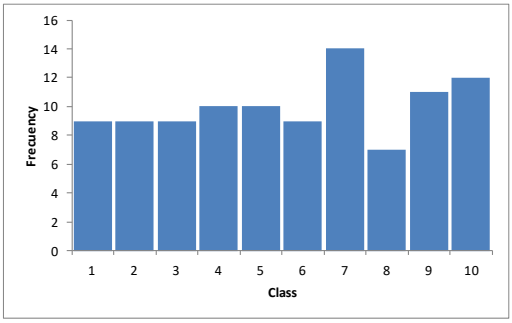



**Figure 12. Histogram**

### Linear Complexity Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 15 Frequency table and y $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 9 | 0,10 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 10 | 0,00 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 12 | 0,40 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 12 | 0,40 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 12 | 0,40 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 8 | 0,40 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 13 | 0,90 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 6 | 1,60 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 8 | 0,40 |
| | | | Total | 100 | 4,60 |
| | | | | p_value | 0,2683 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}268 \geq 0{,}0001$$

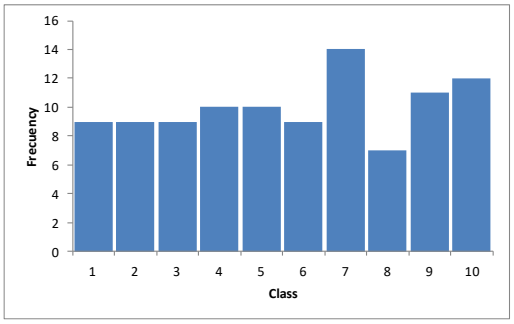



**Figure 13. Histogram**

### Discrete Fourier Transform (Spectral) Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 16 Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 10 | 0,00 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 6 | 1,60 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 9 | 0,10 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 12 | 0,40 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 10 | 0,00 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 5 | 2,50 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 11 | 0,10 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 13 | 0,90 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 10 | 0,00 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 14 | 1,60 |
| | | | Total | 100 | 7,20 |
| | | | | p_value | 0,616 |

It is verified that:

$$\text{p\_value} = 0{,}616 \geq 0{,}0001$$

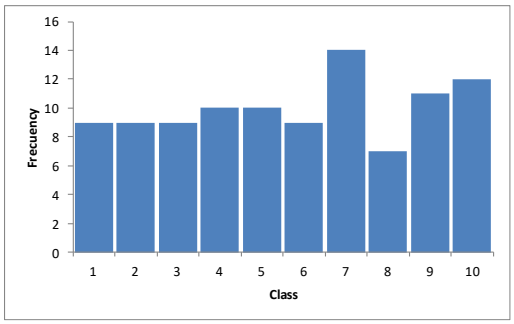



**Figure 14. Histogram**

## Final analysis

A summary table is created based on the test results.

**Table 17. Final analysis**

| Analysis | Tests | Result |
|---|---|---|
| Proportion of sequences passing tests | All | Satisfies |
| Uniform distribution of p-value | Frequency (Monobit) | Satisfies |
| | Frequency Test within a Block | Satisfies |
| | Approximate Entropy Test | Satisfies |
| | Cumulative Sums Test | Satisfies |
| | Runs Test | |
| | Serial Test | |
| | Maurer's "Universal Statistical" Test | |
| | Non-overlapping Template Matching Test | Satisfies |
| | Linear Complexity Test | Satisfies |
| | Discrete Fourier Transform (Spectral) Test | Satisfies |

In short, the sequences delivered by the generator are pseudo-random.

## Conclusions

A device was developed that combines in a non-linear way the binary sequences produced by Self Shrinking Generator, by using four-variable Boolean functions. The process indicated results in four binary sequences that are joined by means of a 2-interlaced sequences.

The LFSRs that make up each generator have basic connection polynomials, which means the sequence has a high period.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



The Boolean combination functions, when used with the multiplexer, are responsible for the non-linear process and make sure that the cryptography performs as well as it should. After the selection process, the functions were added to the generator, which made them start working to produce the different key values. Then, we tested how random these sequences were.The results obtained were satisfactory, and the model presented is considered valid for the generation of pseudorandom sequences of good cryptographic quality.

## References

[1] Massodi, F., Alam, S. and Bokhari, M., "A Analysis of Linear Feedback Shift Registers in Stream Ciphers", International Journal of Computer Application, 16 (17), pp. 0975 – 887, 2012.

[2] Menezes, A.,Van Oorschot, P. and Vanstone, S., "Handbook of Applied Cryptography", Massachusetts Institute of Technology, 1996.

[3] Parr, C. and Pelzl, L., Understanding Cryptography, Springer, 2010.

[4] Stahnke, W., "Primitive Binary Polynomials", Mathematics of Computation, 27. 124, pp. 977-980, 1973.

[5] Seroussi, G., "Table of Low-Weight Binary Irreducible Polynomials", Computer Systems Laboratory, 1998.

[6] Clark, J., Jacob, J., Maitra, S., Stanica, P.: Almost Boolean Functions: The Design of Boolean Functions by Spectral Inversion. Computational intelligence. 20. (3), 450—462 (2004)

[7] Braeken, A.: Cryptographic Properties of Boolean Functions and S-Boxes. Faculteit Ingenieurswetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven (2003)

[8] Elhosary, A., Hamdy, N., Farag, I., Rohiem, I.: State of the Art in Boolean Functions Cryptographic Assessment. International Journal of Computer Networks and Communications Security.1. (3), 88--94 (2013)

[9] Fishman, G.: Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2ß : An Exhaustive Analysis for ß = 32 and a Partial Analysis for ß = 48. Mathematics of Computation. 54. (189), 33--344 (1990)

[10] Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., "A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications", National Institute of Standards and Technology, (2000).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# A Pseudorandom Binary Generator Consisting of a Combination of Modified Self Shrinking Generator Using Boolean Functions and 3-Interlaced Sequences

Andrés Francisco Farías
*National University of La Rioja*
*afarias665@yahoo.com.ar*

Germán Antonio Montejano
*National University of San Luis*
*gmonte@unsl.edu.ar*

Ana Gabriela Garis
*National University of San Luis*
*agaris@gmail.com*

Daniel Riesco
*National University of San Luis*
*driesco@unsl.edu.ar*

Andrés Alejandro Farías
*National University of La Rioja*
*andres_af86@hotmail.com*

## Abstract

*The following steps have been identified as being integral to the developmental process of a Pseudorandom Binary Generator. This Generator consists of a combination of a Modified Self-Shrinking Generator that uses Boolean functions and 3-Interlaced Sequences .This contains: definition of the model, characteristics of the LFSRs, choice of the different LFSR, selection of the Boolean functions based on their optimal cryptographic properties, construction of the generator with the selected components, key and the procedure to generate the initial states of the LFSRs, choice of the statistical tests to be used and the criteria to analyze the results, implementation and performance of the randomness tests on the sequences obtained.*

## Introduction

Pseudorandom Binary Generators are required to produce sequences of excellent cryptographic quality, which are both unpredictable and straightforward to construct. Furthermore, it is imperative that they exhibit both a high period and substantial linear complexity.

This paper proposes a model that addresses these demands. The selected modality is founded upon the non-linear integration of eight Modified Self-Shrinking Generators [1], [2].

## Steps for generator design

The following procedure is required to construct such a pseudo-random generator:

- Definition of the model
- Components
  - Characteristics of Modified Self Shrinking Generator .
  - Selection of the different LFSR, the basis of the system.
  - Selection of variable Boolean functions based on their optimal cryptographic properties.
- Composition of the generator with the components already selected.
- Key
  - Key and the procedure to generate the initial states of the LFSR
  - Permutations
  - Generation of initial states
- Tests of Randomness
  - Choice of Statistical Tests
  - Tests on the Generator
  - Results Analysis

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Definition of the model

The Generator posited in this study is constituted of eight Modified Self-Shrinking Generators, which deliver pseudo-random binary sequences, figure 1:

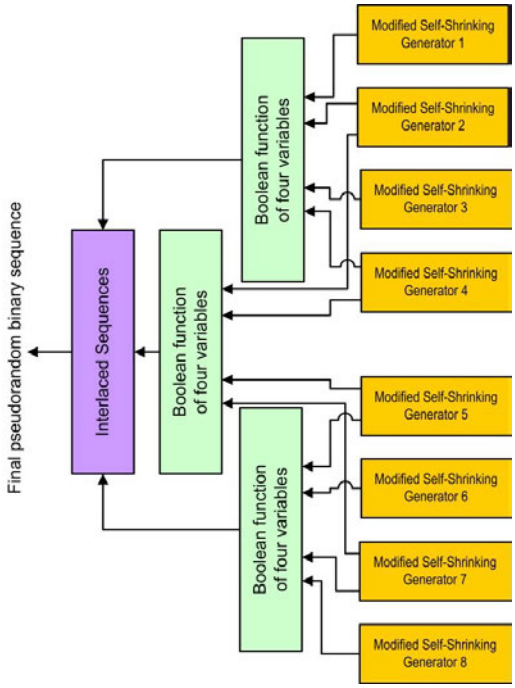



**Figure 1. Pseudorandom Binary Generator scheme**

The Boolean functions combine the binary sequences produced by the Modified Self Shrinking Generator , resulting in three pseudorandom binary sequences. These are then combined by a 3-Interlaced Sequences, to obtain the final pseudorandom binary sequence.

## Components

### Characteristics of the Modified Self-Shrinking Generators (MSSGs)

The proposed MSSG shrinks two bits of an LFSR sequence to one output bit. For the binary sequence generated by an LFSR $(x) = x_0\, x_1\, x_2 \ldots,\ldots$, let $(y) = y_0\, y_1 \ldots$ be the corresponding self-shrunken sequence. Consider three consecutive bits of $(x)$, $(x_{3i},\ x_{3i+1},\ x_{3i+2})$. If $x_{3i} \oplus x_{3i+1}$ is 1, then $x_{3i+2}$is output. If $x_{3i} \oplus x_{3i+1}$ is 0, then is discarded [3], [4] .

The truth table for this generator, in table 1:

**Table 1. The truth table for this MSSGs**

| $x_{3i}$ | $x_{3i+1}$ | $x_{3i+2}$ | $y_i$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | No output |
| 0 | 0 | 1 | No output |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | No output |
| 1 | 1 | 1 | No output |

### Selection of the different LFSR

First, the LFSR that make up each LFSR are established, the lengths and primitive polynomials of each of them are the following [3], [4], [5], table 2 .

**Table 2. LFSR, lengths and primitive polynomials of the Generator**

| LFSR | L | Primitive polynomials |
|---|---|---|
| 1 | 61 | $P(x)_1 = x^{61} + x^{59} + x^{52} + x^{47} + x^{38} + x^{33} + 1$ |
| 2 | 37 | $P(x)_2 = x^{37} + x^{33} + x^{31} + x^{30} + x^{21} + x^3 + 1$ |
| 3 | 59 | $P(x)_3 = x^{59} + x^{53} + x^{45} + x^{34} + x^{22} + x^{21} + 1$ |
| 4 | 53 | $P(x)_4 = x^{53} + x^{51} + x^{37} + x^{29} + x^{18} + x^4 + 1$ |
| 5 | 47 | $P(x)_5 = x^{47} + x^{42} + x^{32} + x^{19} + x^{17} + x^5 + 1$ |
| 6 | 31 | $P(x)_6 = x^{31} + x^{16} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^1 + 1$ |
| 7 | 43 | $P(x)_7 = x^{43} + x^{35} + x^{32} + x^{30} + x^{25} + x^8 + 1$ |
| 8 | 41 | $P(x)_8 = x^{41} + x^{40} + x^{32} + x^{20} + x^{12} + x^{11} + 1$ |

### Selecting Boolean Functions

#### Desirable cryptographic properties

A Below are some of the most cryptographically significant properties, adopted for this work [7], [8], [9]:

- Balanced Function (B)
- High non-linearity (NL)
- Meets strict avalanche criteria (SAC)

Following the criteria indicated above, the accepted Boolean functions are shown in table 3:

**Table 3. Four-variable functions accepted for the generator**

| $f_{NAF}$ | B | NL | SAC |
|---|---|---|---|
| $f_{1316} = b \oplus a \cdot b \oplus b \cdot c \oplus d \oplus b \cdot d$ | yes | 4 | yes |
| $f_{2365} = b \oplus a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus a \cdot d \oplus b \cdot d$ | yes | 4 | yes |
| $f_{2402} = b \oplus a \cdot c \oplus b \cdot c \oplus d \oplus c \cdot d$ | yes | 4 | yes |

## Formation of the combinational generator

The combinational generator is as follows, figure 2

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



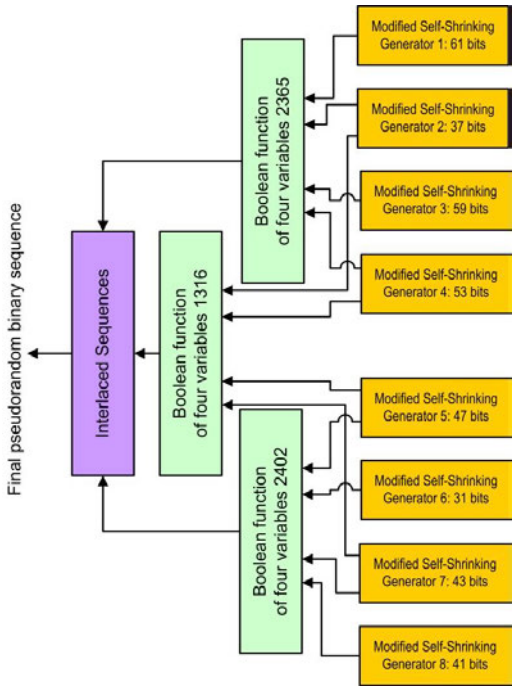



**Figure 2. Pseudorandom Binary Generator**

## Key

To create the initial states of the different LFSRs, a process is carried out that uses a key with a length of 32 characters, which expressed in ASCII code (American Standard Code for Information Interchange), has a length of 256 bits.

To simplify the procedure for choosing the key, only the letters of the English alphabet (lower and upper case) and the numbers of the decimal numbering system are accepted, that is, a total of 62 characters.

The key is subjected to a cryptographic process, which is indicated in figure 3:

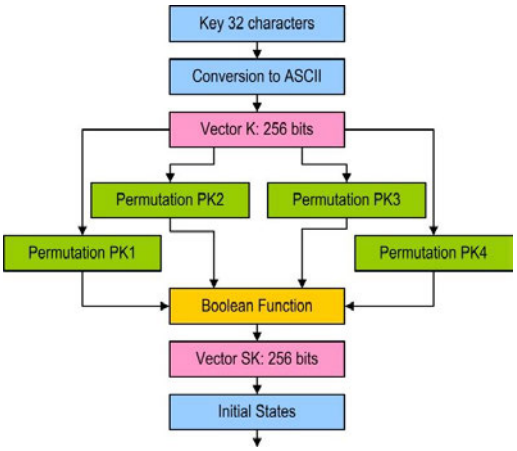



**Figure 3. Generator for initial states**

## Permutations

Multiplicative congruential generator: The generator has the following expression: [9]

$$x_{i+1} = (a_x \cdot x_i) mod\ m_x \quad (4)$$

Where:

$$a_x = multiplier$$
$$m_x = module$$
$$x_0 = seed$$

In table 4:

**Tabla.4. Vectores, módulos, multiplicadores y semillas**

| Vector | module | multiplier | seed |
|---|---|---|---|
| PK1 | 1048573 | 2003 | 1009 |
| PK2 | 1048573 | 2003 | 1013 |
| PK3 | 1048573 | 2003 | 1019 |
| PK4 | 1048573 | 2003 | 1021 |

## 7.2 Generation of initial states

The majority function processes the three vectors K1, K2, K3and K4 resulting in a 256-bit vector SK[j], which will provide the initial states of the LFSR, in a sequential manner.

## Tests of Randomness

### Choice of Statistical Tests

The statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications was selected from the National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 800-22 revision

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



1a, from the work of Rukhin (et al.) [10]. Table 5 shows the statistical tests for random and pseudo-random numbers that make up the package.

**Table 5. Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number**

| | Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number |
|---|---|
| 1 | Frequency (Monobit) |
| 2 | Frequency Test within a Block |
| 3 | Approximate Entropy Test |
| 4 | Cumulative Sums Test |
| 5 | Runs Test |
| 6 | Serial Test |
| 7 | Maurer's "Universal Statistical" Test |
| 8 | Non-overlapping Template Matching Test |
| 9 | Linear Complexity Test |
| 10 | Discrete Fourier Transform (Spectral) Test |

## Tests on the Generator

One hundred binary sequences of 1,000,000 bits were analyzed, obtained from the generator from one hundred different keys.

The significance level adopted for the statistical tests is: $\alpha = 0.01$

The null hypothesis is: $H_0 \rightarrow p\_value > 0.01$

## Results Analysis

Following the directives of NIST 800-22, having the results, two processes are carried out to interpret them:

- Proportion of samples that pass tests.
- Test for Uniformity of p-value

## Proportion of samples that pass tests

To analyze the results, the proportion of samples that pass the tests is determined, and with this data a point graph is constructed, where it must be met that all points are within the upper and lower limits, to accept that the tests were successful.

$$LS, LI = (1-\alpha) \pm 3 \cdot \sqrt{\frac{\alpha(1-\alpha)}{k}}$$

In our case: $k = 100$, and the chosen significance level is: $\alpha = 0.01$.

All tests are considered and the results are indicated in table 6:

**Table 6. Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number**

| | Statistical Tests for Random and Pseudorandom Number | Pass | Ratio | Upper | Lower |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Frequency (Monobit) | 99 | 0,99 | 1.02 | 0.96 |
| 2 | Frequency Test within a Block | 100 | 1,00 | 1.02 | 0.96 |
| 3 | Approximate Entropy Test | 99 | 0,99 | 1.02 | 0.96 |
| 4 | Cumulative Sums Test | 99 | 0,99 | 1.02 | 0.96 |
| 5 | Runs Test | 100 | 1,00 | 1.02 | 0.96 |
| 6 | Serial Test | 98 | 0,98 | 1.02 | 0.96 |
| 7 | Maurer's "Universal Statistical" Test | 99 | 0,99 | 1.02 | 0.96 |
| 8 | Non-overlapping Template Matching Test | 100 | 1,00 | 1.02 | 0.96 |
| 9 | Linear Complexity Test | 98 | 0,98 | 1.02 | 0.96 |
| 10 | Discrete Fourier Transform (Spectral) Test | 99 | 0,99 | 1.02 | 0.96 |

The result can be seen in the graph, the points are within the acceptance limits, finally the sequences delivered by the generator pass the randomness tests, in figure 4:

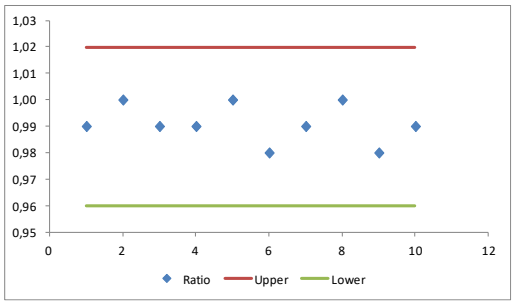



**Figure 4. Dot plot of tests 1 to 10**

## Uniform distribution of P-value

This control is run for each test with the two procedures: frequency table with histogram and goodness-of-fit test.

### Frequency (Monobit)

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 7. Frequency table and $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 9 | 0,10 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 9 | 0,10 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 12 | 0,40 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 6 | 1,60 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 14 | 1,60 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 4 | 3,60 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 10 | 0,00 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 15 | 2,50 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 8 | 0,40 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 13 | 0,90 |
| | | | Total | 100 | 11,20 |
| | | | | $p\_value$ | 0,26 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}26 \geq 0{,}0001$$

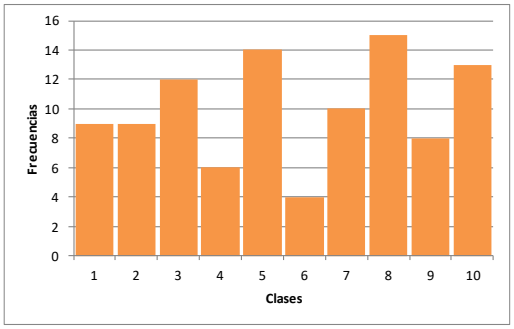



**Figure 5. Histogram**

### Frequency Test within a Block

Se confecciona una tabla de frecuencias de diez clases comprendidas entre 0 y 1, con los p-valuees obtenidos de la prueba realizada sobre las cien muestras, también se determina la prueba de bondad de ajuste.

**Table 8. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 11 | 0,10 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 10 | 0,00 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 8 | 0,40 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 11 | 0,10 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 7 | 0,90 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 9 | 0,10 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 15 | 2,50 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 12 | 0,40 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 4 | 3,60 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 13 | 0,90 |
| | | | Total | 100 | 9,00 |
| | | | | $p\_value$ | 0,437 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}437 \geq 0{,}0001$$

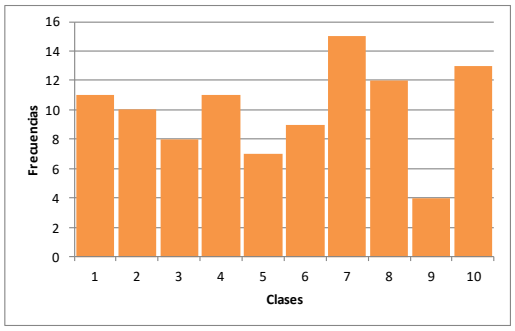



**Figure 6. Histogram**

### Approximate Entropy Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined. Frequency table and

**Table 9. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 5 | 2,50 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 6 | 1,60 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 10 | 0,00 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 8 | 0,40 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 12 | 0,40 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 10 | 0,00 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 12 | 0,40 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 12 | 0,40 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 10 | 0,00 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 15 | 2,50 |
| | | | Total | 100 | 8,20 |
| | | | | $p\_value$ | 0,514 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}514 \geq 0{,}0001$$

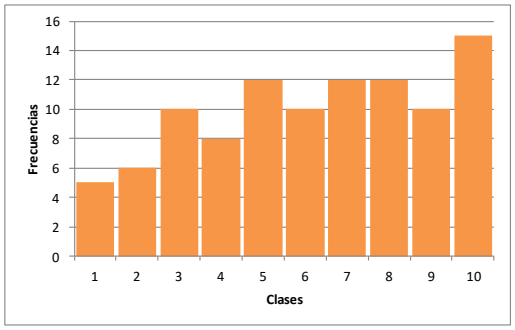



**Figure 7. Histogram**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Cumulative Sums Test**

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 10. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 10 | 0,00 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 7 | 0,90 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 8 | 0,40 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 8 | 0,40 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 11 | 0,10 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 14 | 1,60 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 16 | 3,60 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 10 | 0,00 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 6 | 1,60 |
| | | | Total | 100 | 8,60 |
| | | | *p_value* | | 0,475 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}475 \geq 0{,}0001$$

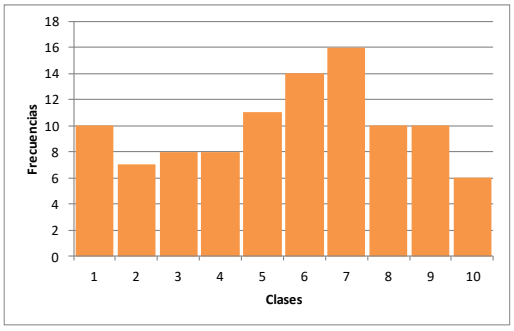



**Figure 8. Histogram**

**Runs Test**

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 11. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 8 | 0,40 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 8 | 0,40 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 8 | 0,40 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 17 | 4,90 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 6 | 1,60 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 16 | 3,60 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 8 | 0,40 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 7 | 0,90 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 15 | 2,50 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 7 | 0,90 |
| | | | Total | 100 | 16,00 |
| | | | *p_value* | | 0,067 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}067 \geq 0{,}0001$$

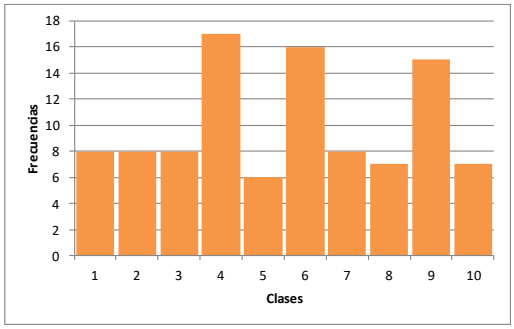



**Figure 9. Histogram**

**Serial Test**

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 12. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 7 | 0,90 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 5 | 2,50 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 7 | 0,90 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 10 | 0,00 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 8 | 0,40 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 20 | 10,00 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 10 | 0,00 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 9 | 0,10 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 10 | 0,00 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 14 | 1,60 |
| | | | Total | 100 | 16,40 |
| | | | *p_value* | | 0,059 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}059 \geq 0{,}0001$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



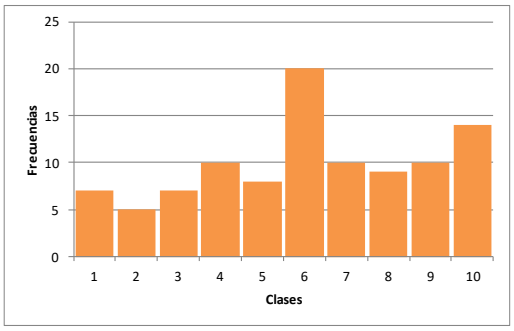



**Figure 10. Histogram**

### Maurer's "Universal Statistical" Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 13 Frequency table and $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 12 | 0,40 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 12 | 0,40 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 7 | 0,90 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 12 | 0,40 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 6 | 1,60 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 14 | 1,60 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 10 | 0,00 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 10 | 0,00 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 12 | 0,90 |
| | | | Total | 100 | 6,20 |
| | | | | $p\_value$ | 0,720 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}720 \geq 0{,}0001$$

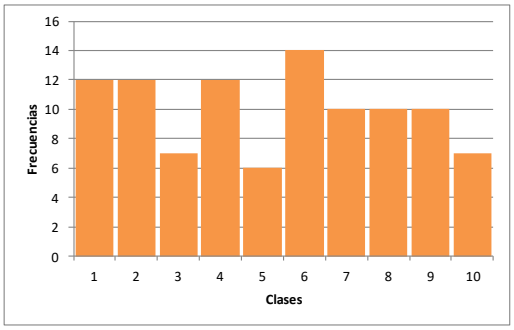



**Figure 11. Histogram**

### Non-overlapping Template Matching Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 14. Frequency table and $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 12 | 0,40 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 6 | 1,60 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 15 | 2,50 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 7 | 0,90 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 6 | 1,60 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 15 | 2,50 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 9 | 0,10 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 10 | 0,00 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 9 | 0,10 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 11 | 0,10 |
| | | | Total | 100 | 9,80 |
| | | | | $p\_value$ | 0,367 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}367 \geq 0{,}0001$$

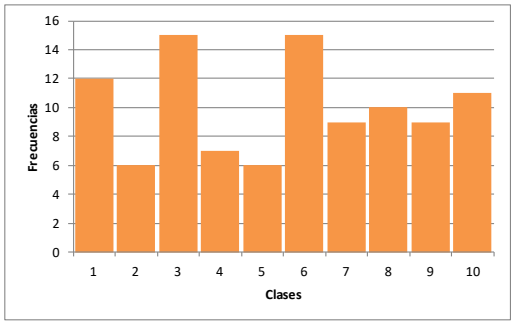



**Figure 12. Histogram**

### Linear Complexity Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 15 Frequency table and $\chi^2$**

| | Class | | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 9 | 0,10 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 13 | 0,90 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 9 | 0,10 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 8 | 0,40 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 13 | 0,90 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 10 | 0,00 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 12 | 0,40 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 8 | 0,40 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 10 | 0,00 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 8 | 0,40 |
| | | | Total | 100 | 3,60 |
| | | | | $p\_valuer$ | 0,936 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}936 \geq 0{,}0001$$

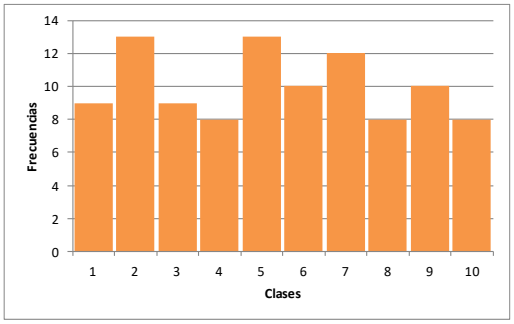



**Figure 13. Histogram**

### Discrete Fourier Transform (Spectral) Test

A frequency table of ten classes between 0 and 1 is created, with the p-values obtained from the test performed on the hundred samples; the goodness-of-fit test is also determined.

**Table 16. Frequency table and $\chi^2$**

| | | Class | | Frecuency | $\chi^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,000 | a | 0,099 | 15 | 2,50 |
| 2 | 0,100 | a | 0,199 | 16 | 3,60 |
| 3 | 0,200 | a | 0,299 | 8 | 0,40 |
| 4 | 0,300 | a | 0,399 | 7 | 0,90 |
| 5 | 0,400 | a | 0,499 | 13 | 0,90 |
| 6 | 0,500 | a | 0,599 | 10 | 0,00 |
| 7 | 0,600 | a | 0,699 | 8 | 0,40 |
| 8 | 0,700 | a | 0,799 | 6 | 1,60 |
| 9 | 0,800 | a | 0,899 | 11 | 0,10 |
| 10 | 0,900 | a | 0,999 | 6 | 1,60 |
| | | | Total | 100 | 12,00 |
| | | | | $p\_value$ | 0,213 |

It is verified that:

$$p\_value = 0{,}213 \geq 0{,}0001$$

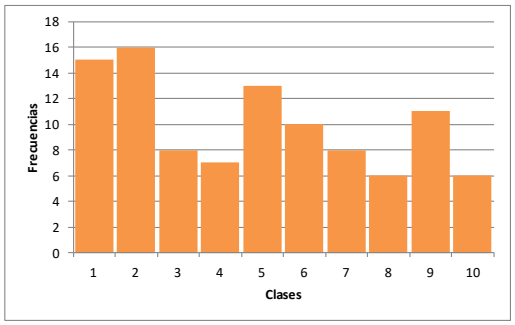



**Figure 14. Histogram**

## Final analysis

A summary table is created based on the test results.

**Table 17. Final analysis**

| Analysis | Tests | Result |
|---|---|---|
| Proportion of sequences passing tests | All | Satisfies |
| Uniform distribution of p-value | Frequency (Monobit) | Satisfies |
| | Frequency Test within a Block | Satisfies |
| | Approximate Entropy Test | Satisfies |
| | Cumulative Sums Test | Satisfies |
| | Runs Test | |
| | Serial Test | |
| | Maurer's "Universal Statistical" Test | |
| | Non-overlapping Template Matching Test | Satisfies |
| | Linear Complexity Test | Satisfies |
| | Discrete Fourier Transform (Spectral) Test | Satisfies |

In short, the sequences delivered by the generator are pseudo-random.

## Conclusions

The Generator non-linearly combines the binary sequences produced by the eight Modified Self Shrinking Generator using four-variable Boolean functions. The procedure yields three binary sequences, which are then connected by a 3-Interlaced Sequence.

The LFSRs that constitute the generator possess primitive connection polynomials, thereby ensuring that the maximum period of each resulting sequence is one.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



The Boolean combination functions, when used in conjunction with the real adder with carry, are responsible for the non-linear process and ensure optimal cryptographic performance. Following the execution of the selection process, the functions were incorporated into the generator and subsequently utilised to generate the respective sequences with different key values. Subsequently, the sequences were subjected to randomness tests.

The ultimate outcomes proved to be satisfactory, thus affirming the proposed design as optimal for the purpose of producing pseudo-random binary sequences of adequate cryptographic quality.

## References

[1] Massodi, F., Alam, S. and Bokhari, M., "A Analysis of Linear Feedback Shift Registers in Stream Ciphers", International Journal of Computer Application, 16 (17), pp. 0975 – 887, 2012.

[2] Menezes, A.,Van Oorschot, P. and Vanstone, S., "Handbook of Applied Cryptography", Massachusetts Institute of Technology, 1996.

[3] Parr, C. and Pelzl, L., Understanding Cryptography, Springer, 2010.

[4] Stahnke, W., "Primitive Binary Polynomials", Mathematics of Computation, 27. 124, pp. 977-980, 1973.

[5] Seroussi, G., "Table of Low-Weight Binary Irreducible Polynomials", Computer Systems Laboratory, 1998.

[6] Clark, J., Jacob, J., Maitra, S., Stanica, P.: Almost Boolean Functions: The Design of Boolean Functions by Spectral Inversion. Computational intelligence. 20. (3), 450—462 (2004)

[7] Braeken, A.: Cryptographic Properties of Boolean Functions and S-Boxes. Faculteit Ingenieurswetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven (2003)

[8] Elhosary, A., Hamdy, N., Farag, I., Rohiem, I.: State of the Art in Boolean Functions Cryptographic Assessment. International Journal of Computer Networks and Communications Security.1. (3), 88--94 (2013)

[9] Fishman, G.: Multiplicative Congruential Random Number Generators with Modulus 2ß : An Exhaustive Analysis for ß = 32 and a Partial Analysis for ß = 48. Mathematics of Computation. 54. (189), 33--344 (1990)

[10] Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Barker, E., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Banks, D., Heckert, A., Dray, J., and Vo, S., "A Statistical Prueba Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications", National Institute of Standards and Technology, (2000).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Análisis Experimental de Ataques DDoS en Controladores SDN: Evaluación de Impacto y Estrategias de Defensa

Juan Carlos CALLONI
*UTN FR San Francisco*
jccalloni@gmail.com

Antonela CALLONI
*UTN FR San Francisco*
antocalloni@gmail.com

David LOPEZ
*UTN FR San Francisco*
davidlopez488@gmail.com

Andrés SCOCCO
*UTN FR San Francisco*
afscocco@gmail.com

Claudia VERINO
*UTN FR San Francisco*
claudiaverino@gmail.com

Norberto Gaspar CENA
*UTN FR Villa María*
ngcena@frvm.utn.edu.ar

## Resumen

*Los ataques de Denegación de Servicio Distribuido (DDoS) constituyen una de las amenazas más persistentes y sofisticadas en el panorama actual de la ciberseguridad. Su impacto resulta especialmente crítico en las redes definidas por software (SDN), donde la separación del plano de control y de datos ha permitido una gestión más flexible y programable, pero también ha introducido nuevos vectores de vulnerabilidad. El controlador SDN, núcleo central de la red, concentra la inteligencia y la gestión de los flujos de tráfico. Esta centralización, que constituye la mayor fortaleza de SDN, es a la vez su principal debilidad: ataques DDoS dirigidos contra el controlador pueden saturar sus recursos de CPU, memoria o ancho de banda, comprometiendo la estabilidad de toda la infraestructura. Entre las tácticas más comunes empleadas por atacantes destacan el SYN Flood, el UDP Flood y el ICMP Flood, que explotan diferentes protocolos para provocar saturación. El análisis experimental de estos ataques en un entorno de laboratorio controlado con herramientas como hping3 resulta clave para comprender sus efectos, validar estrategias de defensa y proponer mejoras adaptadas a escenarios académicos, corporativos y de infraestructuras críticas.*

**Palabras Claves**: Redes Definidas por Software, Ataques DDoS, Controlador SDN, Seguridad en Redes.

## 1. Introducción

Los ataques de denegación de servicio distribuido (DDoS) se mantienen como una de las principales amenazas a la disponibilidad de sistemas y servicios en línea. En los últimos años, se ha registrado una escalada sin precedentes en frecuencia, magnitud y sofisticación. Según Cloudflare, durante 2024 se mitigaron más de 21,3 millones de ataques, lo que representa un aumento del 53% respecto de 2023, con un promedio de 4.870 ataques bloqueados por hora [3]. Esta tendencia se intensificó en 2025: solo en el primer semestre ya se habían neutralizado 27,8 millones de ataques, un 130% más que todo el año anterior [1].

Uno de los fenómenos más preocupantes es la aparición de ataques hipervolumétricos. Mientras que históricamente se medían en gigabits por segundo (Gbps), en 2024 y 2025 se registraron ataques de terabits por segundo (Tbps). En octubre de 2024, Cloudflare reportó un ataque récord de 5,6 Tbps [5]. Durante el segundo trimestre de 2025 se registraron además nuevos picos de 7,3 Tbps y 4,8 mil millones de paquetes por segundo (Bpps) [1].

Esta evolución evidencia que el poder de generar disrupción masiva se ha comoditizado gracias a servicios de DDoS-for-hire y botnets [2].

El impacto de estos ataques se ha desplazado hacia infraestructuras críticas. En 2024, más de 30 aeropuertos europeos fueron afectados por ataques DDoS en el contexto de la guerra en Ucrania [3], [4] y también se registraron incidentes en EE. UU. y Japón, confirmando la tendencia global [5]. Grupos como Anonymous Sudan y Killnet han mostrado cómo el DDoS se ha consolidado en una herramienta de hacktivismo y ciberguerra patrocinada por estados [6].

Otro factor clave es la influencia de la inteligencia artificial (IA). En el plano ofensivo, la IA generativa ha democratizado la ciberdelincuencia al automatizar campañas y facilitar ataques adaptativos capaces de evadir defensas tradicionales [7], [8]. Al mismo tiempo, en el plano defensivo, permite detectar anomalías en tiempo real y mitigar ataques en cuestión de segundos. Este cambio señala la transición de una "guerra de volúmenes" hacia una "guerra de inteligencia".

En este panorama, las redes definidas por software (SDN) ocupan un rol central. Su arquitectura, que separa el plano de control del plano de datos, otorga flexibilidad y programabilidad [9]. Sin embargo, esta centralización convierte al controlador SDN en un objetivo crítico: un ataque exitoso puede saturar sus recursos y provocar la caída de la red [10].

En el contexto de redes universitarias, donde la mezcla de tráfico académico, administrativo y estudiantil presenta un entorno particularmente complejo y diverso, la protección contra ataques DDoS se vuelve aún más crítica. La infraestructura de red en estas instituciones es esencial para el funcionamiento continuo de actividades educativas y administrativas, y un ataque DDoS exitoso podría tener consecuencias desastrosas.

Aunque la literatura ha propuesto soluciones que van desde IDS en entornos SDN [11] hasta modelos de machine learning con altas tasas de precisión [12], la efectividad de estas defensas depende de comprender en detalle el impacto de los ataques clásicos sobre el controlador en el ambiente donde serán aplicadas. Por ello, el presente trabajo reproduce en laboratorio tres ataques DDoS clásicos: SYN Flood, UDP Flood e ICMP Flood, mediante la herramienta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



hping3, con el objetivo de analizar su comportamiento, evaluar su impacto en el plano de control y sentar una base empírica que permita, en investigaciones posteriores, explorar mecanismos de defensa más avanzados basados en inteligencia artificial.

## 2. Conceptos

### 2.1. Redes Definidas por Software (SDN)

El crecimiento de la comunicación por Internet ha impulsado la necesidad de redes más flexibles, escalables y eficientes. En este contexto, las Redes Definidas por Software (SDN) emergen como una solución innovadora, al separar el plano de control del plano de datos, y permite una gestión centralizada y programable de la red, como se muestra en la Figura 1.

En la arquitectura SDN, el controlador actúa como el "cerebro" de la red, comunicándose con la capa de aplicación (que define políticas) y con la infraestructura de red (dispositivos físicos o virtuales). Este enfoque contrasta con las redes tradicionales, en las que cada dispositivo toma decisiones de forma autónoma [13].

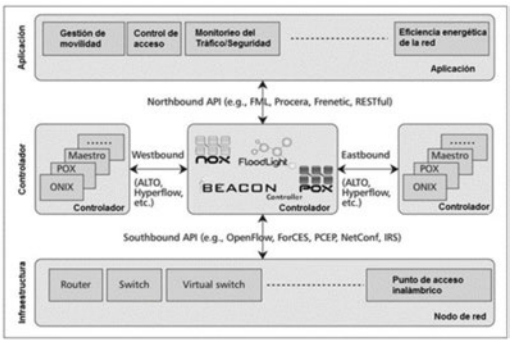



**Figura 1. La arquitectura de una Red (SDN) [14]**

Uno de los componentes clave de SDN es el protocolo OpenFlow, que facilita la comunicación entre el controlador y los dispositivos de red a través de la interfaz sur. OpenFlow permite aplicar políticas de seguridad, gestionar puertos y regular el tráfico dinámicamente.

No obstante, esta arquitectura también introduce desafíos de seguridad en el plano de control y en el de datos. Las amenazas incluyen accesos no autorizados, manipulación de tablas de enrutamiento y ataques de denegación de servicio (DoS), lo que resalta la importancia de proteger tanto las interfaces como los mecanismos de comunicación entre componentes.

Las SDN representan, así, una evolución significativa respecto a las arquitecturas de red convencionales. Su característica fundamental es la separación del plano de control (que determina el enrutamiento del tráfico) del plano de datos (que se encarga de la transmisión efectiva de información). Esta separación permite centralizar la gestión de la red mediante controladores basados en software, proporcionando mayor flexibilidad y simplificando la administración de infraestructuras complejas [15].

Asimismo, las SDN pueden clasificarse en diferentes modelos, cada uno con características particulares que ofrecen distintos niveles de control y flexibilidad en la gestión de redes [16]. Esta diversidad de enfoques permite a los administradores elegir la solución que mejor se adapte a sus necesidades específicas, desde un control total sobre la infraestructura hasta una integración más gradual con las tecnologías tradicionales [17].

### 2.2. Ataques DDoS: Definición y Tipología

Los ataques DDoS se caracterizan por la coordinación de múltiples dispositivos (botnets) para generar un volumen de tráfico que exceda la capacidad de procesamiento o comunicación de un objetivo. En entornos SDN, afectan no solo al plano de datos sino también al controlador, que se ve obligado a procesar tráfico anómalo.

| Tipo de Ataque | Tipo de Ataque | Recurso Afectado |
|---|---|---|
| SYN Flood | Saturación de la tabla de flujos, aumento del consumo de CPU | CPU |
| UDP Flood | Consumo excesivo de ancho de banda, congestión de enlaces, pérdida de paquetes | Ancho de banda |
| ICMP Flood | Interrupciones en la conectividad, incremento de latencia, reducción de disponibilidad | Conectividad |

**Figura 2. Figura de Tipos de Ataques**

Aunque son ataques clásicos, siguen siendo altamente efectivos contra arquitecturas SDN, donde la sobrecarga no solo afecta al servidor víctima, sino también al controlador centralizado que debe gestionar los flujos maliciosos los tipos de ataques más comunes en DoS se muestran en la Figura 2.

Ataques de Denegación de Servicio (DoS) y Denegación de Servicio Distribuido (DDoS), consiste en saturar un elemento crítico de la red, como el controlador o un servidor, mediante el envío masivo de paquetes. En SDN, un ataque DDoS puede dirigirse al controlador, provocando que este no pueda procesar nuevas solicitudes, afectando toda la red. Ejemplos típicos incluyen ataques SYN flood y ping flood (ICMP).

**Mitigación:**

- Uso de recolectores de tráfico para detectar picos anómalos en el flujo de datos y origen/destino del tráfico.
- Implementación de reglas proactivas en switches para limitar la cantidad de solicitudes al controlador.
- Incremento de la capacidad de buffer en switches para soportar cargas elevadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Cifrado y autenticación en la comunicación entre switches y controlador para evitar ataques de inundación y manipulación.
- Aplicaciones de gestión SDN que bloquean flujos maliciosos en tiempo real mediante órdenes al controlador [18] [19] [20].

**Vulnerabilidades específicas de la arquitectura SDN**

La seguridad en SDN presenta características particulares que requieren enfoques diferenciados:

1. Centralización como punto crítico: El controlador centralizado puede convertirse en objetivo de ataques de denegación de servicio distribuido (DDoS), comprometiendo toda la infraestructura.
2. Separación de planos: La división entre el plano de control y el plano de datos introduce vulnerabilidades en las interfaces entre ambos componentes.
3. Superficies de ataque ampliadas: Cada plano e interfaz de la arquitectura SDN presenta superficies de amenaza específicas que pueden ser aprovechadas por actores maliciosos.

En el lado del controlador, una alta tasa de llegada de mensajes de entrada de paquetes que excede su capacidad de procesamiento provoca una sobrecarga del controlador, volviéndolo inaccesible para el tráfico legítimo. Esto podría provocar el fallo de toda la red, ya que el controlador implementa la lógica de la SDN y gestiona las aplicaciones y los conmutadores OpenFlow . La Figura 3 muestra un esquema de un ataque DoS/DDoS en SDN [21].

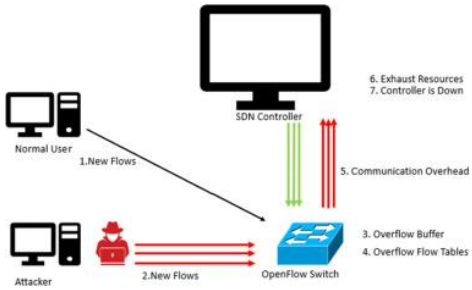



**Figura 3. Ataques DoS/DDoS en SDN [18]**

## 2.3. Mecanismo de Seguridad

Los mecanismos de seguridad son el conjunto de herramientas y técnicas que permiten proteger la información y los sistemas informáticos de ataques y accesos no autorizados [19].

Un Mecanismo de Defensa en Profundidad en lugar de confiar en una sola barrera para proteger tus datos, establece varias capas de seguridad, cada una diseñada para detener diferentes tipos de ataques. Si un atacante logra atravesar una capa de seguridad, se encontrará con otra y así sucesivamente.

Una defensa en profundidad es una estrategia proactiva que combina múltiples capas de seguridad para proteger los sistemas y datos de una organización. Al implementar estas capas, se reduce significativamente el riesgo de sufrir una brecha de seguridad [20].

## 2.4. Mitigar ataques DDoS

Para mitigar estos ataques, una estrategia eficaz es utilizar el marco MITRE ATT&CK. Este marco ayuda a identificar las técnicas y tácticas que los ciberdelincuentes podrían emplear para ejecutar un DDoS. Las empresas pueden usarlo para documentarse sobre las posibles amenazas y desarrollar respuestas preventivas o de mitigación [21].

Los ataques DDoS son una amenaza significativa para las empresas, y la implementación de estrategias de defensa basadas en el marco MITRE ATT&CK y la inteligencia de amenazas es esencial para prevenir y mitigar sus efectos [22].

Este tráfico malicioso se dirige al objetivo a través de múltiples ordenadores o dispositivos, a menudo comprometidos por malware y controlados por un atacante, formando lo que se conoce como una botnet. Los ataques DDoS pueden usar varias estrategias [23]:

**Tipos de ataques DDoS**

- Capa de aplicación (L7): saturan servidores con solicitudes HTTP legítimas en apariencia.
- Protocolo (L3/L4): usan ICMP u otros protocolos para agotar recursos de red.
- Volumétricos: consumen todo el ancho de banda disponible mediante botnets o amplificación.

**Estrategias de mitigación**

- Reducción de superficie de ataque: balanceadores de carga, bloqueo de puertos y protocolos innecesarios.
- Anycast: distribuir tráfico en múltiples servidores para absorber picos.
- Monitoreo en tiempo real: detectar patrones anómalos y responder rápido.
- Caché/CDN: reducir carga en servidores de origen.
- Limitación de velocidad: restringir la cantidad de peticiones por unidad de tiempo.

**Herramientas**

- WAF (Firewall de Aplicaciones Web): filtra y bloquea tráfico HTTP malicioso.
- Mitigación DDoS siempre activa: servicios especializados que analizan tráfico de manera continua y adaptan defensas dinámicamente [23].

# 3. Trabajos Relacionados

Para la revisión del estado del arte se realizó una búsqueda bibliográfica en bases de datos especializadas como IEEE Xplore y ScienceDirect, utilizando combinaciones de palabras clave como "Software-Defined Networking", "DDoS detection", "SDN security", y "AI-based DDoS mitigation".

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Se priorizaron artículos recientes (2022–2024) que abordaran la detección y mitigación de ataques DDoS en arquitecturas SDN, así como propuestas que integraran técnicas de inteligencia artificial o controladores distribuidos.

Los trabajos seleccionados representan los enfoques más relevantes y actualizados en la materia.

El trabajo **"A Flow-Based Anomaly Detection Approach With Feature Selection Method Against DDoS Attacks in SDNs"** (IEEE TCCN, 2022) propone un modelo de detección de anomalías basado en flujo que combina técnicas de selección de características (Information Gain y Random Forest) con redes neuronales profundas tipo LSTM Autoencoder. Los autores demuestran que una selección óptima de características mejora la precisión y reduce el tiempo de procesamiento, alcanzando tasas de detección elevadas sin degradar significativamente el rendimiento del controlador SDN [24].

Por su parte, "**Physical Assessment of an SDN-Based Security Framework for DDoS Attack Mitigation: Introducing the SDN-SlowRate-DDoS Dataset"** (IEEE Access, 2023) evalúa físicamente un marco de mitigación automática de ataques DDoS de baja tasa en una red real basada en la infraestructura SN4I. El estudio introduce el dataset SDN-SlowRate-DDoS, que contiene tráfico real capturado mediante controladores SDN y demuestra una eficiencia de mitigación entre el 91.66 % y el 100 %, evidenciando la relevancia de validar mecanismos de defensa en entornos físicos [25].

El artículo **"Exploring Traffic Patterns Through Network Programmability: Introducing SDNFlow"** (IEEE Access, 2024) aborda la carencia de datasets actualizados basados en OpenFlow para la detección de intrusiones en redes SDN. Los autores desarrollan SDNFlow, un conjunto de datos generado a partir de estadísticas OpenFlow reales, y evalúan su desempeño con múltiples algoritmos de aprendizaje automático (KNN, SVM, Random Forest, MLP), alcanzando precisiones del 97 %–99 % en clasificación binaria y multiclase [26].

En **"Enhancing DDoS Attack Detection and Mitigation in SDN Using an Ensemble Online Machine Learning Model"** (IEEE Access, 2024), se presenta un enfoque basado en Online Machine Learning (OML) con modelos en conjunto (Ensemble) capaces de actualizarse en tiempo real frente a patrones de ataque emergentes, incluidos los de baja tasa y zero-day. Entrenado con datasets CICDDoS2019, InSDN y Slow-Read-DDoS, el modelo logra una tasa de detección del 99.2 %, superando propuestas estáticas y fortaleciendo la resiliencia de la red [27].

Finalmente, **"A Filtering Model for Evidence Gathering in an SDN-Oriented Digital Forensic and Incident Response Context"** (IEEE Access, 2024) introduce un modelo de filtrado inteligente que integra detección de tráfico anómalo y recopilación de evidencia digital en entornos SDN. El trabajo combina técnicas de inteligencia artificial con un enfoque de Digital Forensic and Incident Response (DFIR), generando un dataset propio basado en tráfico OpenFlow para la identificación de incidentes y soporte de procesos forenses [28] .

El trabajo **"A comprehensive review on Software-Defined Networking (SDN) and DDoS":** Esta revisión exhaustiva analiza los **enfoques existentes para la detección de ataques DDoS en SDN**. Destaca las ventajas de SDN como la programabilidad, flexibilidad y escalabilidad, haciéndola ideal para nuevas redes, aunque susceptible a ataques DoS/DDoS. El artículo también ofrece una visión general del panorama de amenazas para SDN y DoS. Se mencionan futuras líneas de investigación, incluyendo el desarrollo de soluciones basadas en SDN para ataques DoS/DDoS y la reducción del tiempo de identificación de ataques DDoS en arquitecturas de controlador SDN distribuido [29] .

**"A Survey of AI Methods for Detection of DDoS Attacks":** Este estudio de 2024 explora el uso de **métodos de Inteligencia Artificial (IA) para la detección de ataques DDoS**. Revela la utilidad de los métodos de IA, particularmente los **modelos de aprendizaje profundo**, para identificar y clasificar ataques DDoS con tasas mínimas de falsos positivos. Subraya la importancia del desarrollo continuo de técnicas basadas en IA para abordar la evolución de los ataques DDoS, lo que lleva a una mayor precisión, eficacia y durabilidad en la seguridad de la red [30].

**Tabla 1. Síntesis de los principales aportes y limitaciones de los trabajos analizados.**

| Autor / Año | Enfoque | Técnica principal | Limitación | Aporte del presente trabajo |
|---|---|---|---|---|
| **El Sayed et al., 2022** | Detección basada en flujo | LSTM + selección de características (IG, RF) | Uso de datasets no híbridos | Validación en red universitaria híbrida |
| **Yungaicela-Naula et al., 2023** | Mitigación física de DDoS lento | Framework SDN + DL + dataset real | Escenario centrado solo en ataques lentos | Extensión a ataques volumétricos en SDN híbridas |
| **Buzzio-García et al., 2024** | Dataset OpenFlow real (SDNFlow) | ML/DL (KNN, RF, SVM, MLP) | Validación en entorno controlado | Aplicación en entorno educativo con firewall dinámico |
| **Alashhab et al., 2024** | Detección adaptativa (OML) | Ensemble + Online Learning | Simulación sin integración forense | Incorporación de orquestación y registro forense |
| **Jiménez et al., 2024** | DFIR para SDN | IA + modelo de filtrado | Enfoque post-incidente | Integración proactiva detección–forense en tiempo real |
| **Verma, A. Kaur and A. K., 2022** | SDN centralizado | Revisión general | Falta de validación experimental | Se valida en entorno SDN universitario real |
| **O.-I. A. O. Otiko, E. A. Edim, G. A. Iyang, and E., 2024** | IA aplicada a DDoS | Aprendizaje profundo | Modelos sin integración práctica | Integración en controlador SDN POX |

En síntesis, las investigaciones revisadas demuestran avances significativos en la detección y mitigación de ataques DDoS en redes SDN, destacando el valor de los datasets reales, la IA adaptativa y la integración con análisis forense. No obstante, persisten desafíos vinculados a la interoperabilidad en redes híbridas, la validación en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



contextos académicos reales y la reducción del tiempo de reacción ante ataques de alta intensidad.

El presente trabajo aborda estas brechas mediante una propuesta práctica orientada a redes universitarias híbridas, integrando un firewall dinámico sobre el controlador POX y mecanismos de reconfiguración automática frente a ataques DDoS. Esta contribución refuerza la resiliencia de la infraestructura y ofrece una base experimental replicable para la comunidad académica.

## 4. Definición del Modelo

### 4.1. Definición del Problema

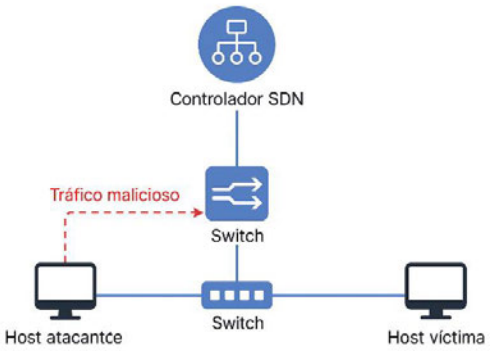



**Figura 4. Ataque DDoS en la red interna local.**

En la Figura 4 se representa un ataque DDoS en una red interna desde su LAN, enfocado en atacar servicios web. Aquí se destacan los componentes de la infraestructura de red y el flujo del ataque:

- **Controlador SDN** centralizado
- **Host atacantes** generando tráfico malicioso
- **Host víctimas**
- Un **switch SDN** interconectando los elementos
- Flujo de tráfico simulado con **hping3**

El ataque parece estar centrado en saturar los recursos del sistema (servidores web) ubicados en la DMZ, lo que puede resultar en la interrupción de los servicios web, afectando tanto a usuarios internos como externos. Este diagrama ilustra un escenario típico en el que un atacante explota vulnerabilidades internas para lanzar un ataque DDoS contra servicios críticos, demostrando la importancia de mantener actualizados los servicios de acceso y de implementar mecanismos de seguridad adecuadas dentro de la red local.

### 4.2. Objetivos de esta investigación

**Objetivo General**

Desarrollar y proponer un mecanismo de defensa basado en redes definidas por software (SDN) para mitigar eficazmente un ataque DDoS (SYN Flood, UDP Flood, ICMP Flood) contra controladores SDN, mediante simulaciones de laboratorio.

**Objetivos Específicos:**

- Reproducir los ataques en entornos controlados con hping3.
- Medir el impacto en términos de, latencia, disponibilidad del controlador, ancho de banda y cantidad de paquetes por segundo.

### 4.3. La Hipótesis

Si se simulan ataques de denegación de servicio distribuidos (SYN Flood, UDP Flood e ICMP Flood) contra un controlador en una red definida por software (SDN) en un entorno de laboratorio, entonces será posible caracterizar su impacto en la disponibilidad y rendimiento de la red, y validar que la aplicación de reglas de firewall y políticas de limitación de tráfico en el switch Open vSwitch contribuyen significativamente a mitigar dichos ataques, reduciendo la saturación de recursos y estabilizando el flujo de tráfico.

Esta hipótesis es fundamental porque aborda un problema persistente en la ciberseguridad: los ataques DDoS, que pueden paralizar servicios esenciales en redes universitarias y otros entornos críticos. El uso de SDN representa una innovación tecnológica que promete mejorar la gestión del tráfico malicioso a través de su flexibilidad y capacidad de centralización, lo que permite una respuesta más rápida y eficaz frente a ataques.

Se plantea que:

- El SYN Flood impactará principalmente en la tabla de flujos y el consumo de CPU.
- El UDP Flood generará congestión del ancho de banda.
- El ICMP Flood producirá latencia elevada y pérdida de conectividad.

Analizar experimentalmente estas variantes permitirá sentar bases para **defensas específicas y adaptativas** que optimicen la resiliencia de las SDN frente a DDoS.

Verificar esta hipótesis podría no solo fortalecer la seguridad en las redes, sino también establecer un marco de referencia para futuras soluciones en otras infraestructuras críticas, contribuyendo así a la evolución de la defensa cibernética frente a amenazas cada vez más complejas.

## 5. Desarrollo de la prueba en escenario simulado

El trabajo que se desarrolló se centra en la mitigación de ataques DoS/DDoS (SYN Flood, UDP Flood, ICMP Flood) en redes SDN en un entorno experimental controlado utilizando **Mininet** como emulador de red y **POX** como controlador SDN, debido a su facilidad de integración con herramientas de análisis de tráfico, con el fin de asegurar sus sistemas frente a las vulnerabilidades más comunes reportadas para páginas web y DDoS según "MITRE CVE" [31] [32].

El escenario experimental se diseñó utilizando Mininet como entorno de virtualización de red y POX como

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



controlador SDN. La topología implementada incluyó un servidor web (h1) con dirección IP 10.0.0.1, al cual se accedió mediante un servicio HTTP básico implementado con python3 -m http.server 80. Como clientes generadores de tráfico se configuraron tres hosts (h2, h3 y h4), con direcciones IP 10.0.0.2, 10.0.0.3 y 10.0.0.4 respectivamente.

Para la generación de los ataques se empleó la herramienta hping3, configurada en cada host atacante de la siguiente manera:

- h2: ataque UDP Flood sobre el puerto 80 (hping3 --udp -p 80 --flood 10.0.0.1).
- h3: ataque SYN Flood sobre el puerto 80 (hping3 -p 80 -S --flood 10.0.0.1).
- h4: ataque ICMP Flood contra el servidor (hping3 --icmp --flood 10.0.0.1).

Durante la ejecución de los ataques se implementaron reglas de firewall en el controlador POX (firewall.py) para bloquear flujos específicos según dirección IP, protocolo y puerto. Asimismo, se aplicaron políticas de limitación de tráfico en los puertos del switch Open vSwitch mediante ingress_policing_rate e ingress_policing_burst, con el fin de reducir la saturación de la red y mitigar el impacto de los ataques.

El monitoreo del tráfico se realizó con la aplicación sFlow-RT, utilizando la opción mn_flow para obtener métricas en tiempo real de paquetes por segundo (pps) y volumen de tráfico. Estos datos fueron recolectados en archivos CSV y posteriormente procesados con scripts en Python (pandas y matplotlib) para calcular tasas de paquetes y throughput, generando gráficos comparativos antes, durante y después de los ataques.

### 5.1. Simulación de Ataque DDoS

El objetivo de esta prueba fue simular un ataque de denegación de servicio distribuido (DDoS) en una red definida por software (SDN) utilizando el controlador POX, con el fin de observar el comportamiento del sistema bajo situaciones de estrés y evaluar el rendimiento de un firewall integrado para mitigar los efectos del ataque.

En esta simulación mediremos:

- pps_in — paquetes por segundo que llegan al switch (muestra magnitud del ataque).
- pps_dropped_switch — paquetes descartados por las reglas en el switch (verifica que el firewall actúa).
- pps_server — paquetes que realmente llegan al servidor (debe ser ~0 cuando firewall opera).
- throughput_mbps — carga en Mbps observada en el switch / enlace.
- latency_ms_avg / latency_ms_p95 — latencia hacia el servidor (antes/durante/después).

Además vamos a evaluar el comportamiento de la infraestructura SDN y la eficacia de las defensas (reglas OpenFlow en el controlador POX y limitación por puerto en Open vSwitch) frente a tres tipos de ataques DDoS: SYN Flood (TCP), UDP Flood e ICMP Flood.

**Entorno experimental.**

La prueba se ejecutó en un entorno virtualizado usando Mininet y POX:

- Mininet (topología):
  *sudo mn --topo single,4 --mac --arp --switch ovsk --controller=remote*
- Hosts:

  h1 (10.0.0.1): servidor web (Python HTTP server).
  h2 (10.0.0.2), h3 (10.0.0.3), h4 (10.0.0.4): hosts atacantes.
- Controlador SDN: POX (módulo ext.firewall / firewall.py cargado únicamente).
- Switch: Open vSwitch (s1) con soporte sFlow para monitoreo (sFlow-RT con opción mn_flow).

**Servicios y herramientas usadas.**

- Servidor web en h1: python3 -m http.server 80 &
- Generadores de ataque en h2–h4: hping3 con los siguientes comandos:

a) h2 (UDP Flood*): hping3 --udp -p 80 --flood 10.0.0.1*
*b)* h3 (SYN Flood): *hping3 -p 80 -S --flood 10.0.0.1*
c) h4 (ICMP Flood): *hping3 --icmp --flood 10.0.0.1*

- Monitoreo: sFlow-RT (mn_flow), ovs-ofctl dump-flows s1, y tcpdump en h1 para confirmar si los paquetes llegan al servidor.
- Recolección: scripts de muestreo (measure_flows.sh, measure_latency.sh, measure_throughput.sh) y procesamiento con Python (convert_flows_to_metrics.py, plot_metrics_from_flows.py).

**Configuración del firewall y policing (defensas).**

- Reglas OpenFlow instaladas desde POX: flow_mods con actions = [] (drop explícito) para bloquear por combinación de nw_src, nw_dst, nw_proto y tp_dst (cuando aplica). Prioridad alta (priority = 65000) para asegurar preeminencia.
- Policing en el puerto del switch (ejemplo para s1-eth4):
  sudo ovs-vsctl set interface s1-eth4
  ingress_policing_rate=1000
  ingress_policing_burst=100
  (valor en kbps; 0 = sin policing).

**Protocolo de la prueba (pasos reproducibles).**

1. Arrancar POX solo con el módulo firewall:
   *./pox.py log.level --DEBUG ext.firewall*
2. Iniciar Mininet y comprobar conectividad (pingall).
3. Iniciar servidor web en h1:

   # en la terminal de h1
   *python3 -m http.server 80 &*

4. Iniciar captura y recolección:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Ejecutar measure_flows.sh s1 flows.csv 10.0.0.1 en la máquina host que controla OVS.
- Ejecutar measure_latency.sh http://10.0.0.1 latency.csv desde un host que simule mediciones clientes.

- Ejecutar measure_throughput.sh h1-eth0 throughput.csv en el host que corre h1.

5. Lanzar ataques (pueden iniciarse de uno en uno o simultáneamente para escenarios multivector):

- En h3: hping3 -p 80 -S --flood 10.0.0.1 (SYN).
- En h2: hping3 --udp -p 80 --flood 10.0.0.1 (UDP).
- En h4: hping3 --icmp --flood 10.0.0.1 (ICMP).

6. Durante la inyección de tráfico observar en tiempo real: sFlow (mn_flow), ovs-ofctl dump-flows s1, y tcpdump -n -i h1-eth0 icmp para confirmar que h1 no recibe ICMP cuando la regla está activa.

7. Aplicar policing si se desea reducir la carga recibida por el switch y comparar métricas antes/después.

8. Finalizar los ataques y recopilar los CSV para procesamiento.

**Métricas registradas.**

- n_packets, n_bytes por flow (OVS flows) → convertidos a pps y Mbps (diferencias entre muestras).
- Latencia HTTP (tiempo total por curl, promedio y percentil 95).
- Disponibilidad del servicio (código HTTP 200/otros).
- Contadores de reglas OpenFlow (n_packets en dump-flows) para verificar paquetes dropeados.

**Resultados esperados y validación.**

- Las reglas OpenFlow con actions = [] y prioridad alta deben producir contadores crecientes en los n_packets de las flows correspondientes (indica que el switch está recibiendo y dropeando tráfico).
- tcpdump en h1 debe mostrar ausencia (o reducción significativa) de paquetes ICMP/TCP/UDP dirigidos al servidor cuando las reglas y/o policing están activas.
- sFlow-RT mostrará inicialmente picos altos de pps en entradas del switch; tras aplicar policing, el pps_in observado por el switch disminuirá significativamente.
- Latencia y disponibilidad: durante ataques sin mitigación se espera degradación (latencia alta, códigos no 200); con mitigación activa se espera recuperación o mantenimiento de servicio (latencia controlada, disponibilidad).

**Consideraciones prácticas y limitaciones.**

- sFlow mide el tráfico que llega al switch, por lo que la presencia de altos valores en sFlow no implica necesariamente que el servidor reciba ese tráfico (si el switch lo ha droppeado). En el estudio se distingue claramente entre tráfico entrante al switch y tráfico entregado al servidor.
- En entornos reales, la limitación por policing en el borde y la cooperación con proveedores de mitigación (CDN/Anycast) son necesarias para ataques volumétricos a gran escala.
- Por motivos éticos y legales, todas las pruebas se realizaron en un entorno controlado y aislado; no se realizaron ataques contra activos externos.

## 5.2. Realización de experimento

**1. Preparación del Entorno Virtualizado**
Descarga e instalación del sistema operativo:

- Se descargó la imagen ISO de Ubuntu Desktop desde la página oficial de Ubuntu (https://ubuntu.com/download/desktop).
- Se utilizó VirtualBox para crear una máquina virtual desde cero, seleccionando "Linux Ubuntu 64" como el sistema operativo.
- Se configuró la máquina virtual con las siguientes especificaciones:
  - Memoria RAM: 8 GB.
  - Espacio de disco: 30 GB (se eligió esta cantidad de espacio tras superar un error inicial con un disco de 6 GB).
- Se montó la imagen ISO de Ubuntu como disco en el "controlador de IDE" y se procedió con la instalación guiada de Ubuntu Desktop versión 22.04.4.

**2. Instalación de paquetes y herramientas:**
- Curl: *sudo snap install curl.*
- Git: *sudo apt-get install git -y* (necesario para clonar el repositorio de POX).
- Mininet: *sudo apt-get install mininet -y* (para simular la red SDN).
- Xterm: *sudo apt-get install xterm -y* (para abrir múltiples terminales).
- Hping3: *sudo apt-get install hping3 -y* (herramienta para generar paquetes de red y simular ataques).
- Pip: *sudo apt install python3-pip -y* (para gestionar paquetes de Python).

**3. Instalación del Controlador SDN POX**
a. Clonación del repositorio POX:
- Se clonó el controlador POX utilizando el comando git clone *https://github.com/noxrepo/pox.git*, esencial para la gestión del tráfico de red en la simulación.

b. Instalación de sFlow:
- Se descargó sFlow, un analizador de tráfico en tiempo real, utilizando el comando wget *https://inmon.com/products/sFlow-RT/sflow-rt.tar.gz.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Se descomprimió el archivo con tar -xvzf y se inició el servicio de sFlow con *./sflow-rt/start.sh.*

**4. Inicio del controlador POX:**

- Se inició el controlador POX utilizando el comando *./pox.py verbose forwarding.l2_learning forwarding.l3_learning*
  Que permite gestionar el tráfico de red utilizando técnicas de aprendizaje en las capas 2 y 3 del modelo OSI como se puede ver en la Figura 5.

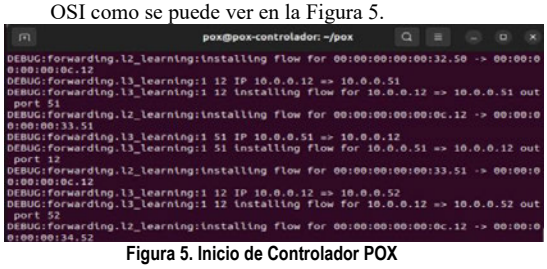



**Figura 5. Inicio de Controlador POX**

**5. Creación simulada de la topología con 20 host:**

- Se creó una topología de red simple con 20 host utilizando Mininet simulando la red de servicios y LAN:

*sudo mn --topo single,20 --mac --arp --switch ovsk --controller=remote*

- Esta configuración generó una red con un único switch conectado a 20 hosts. La conectividad de la red se verificó utilizando el comando pingall, confirmando que todos los hosts podían comunicarse como se puede ver en la Figura 6.

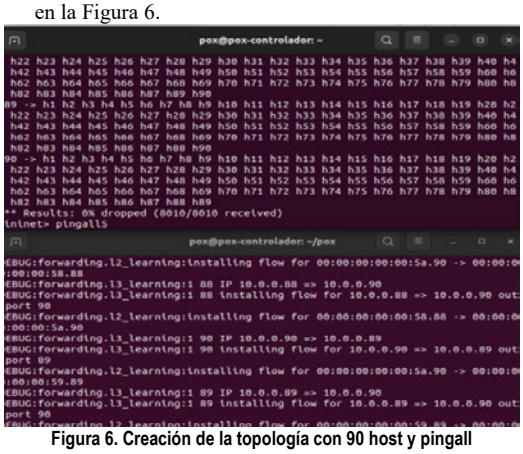



**Figura 6. Creación de la topología con 90 host y pingall**

- Configuración del monitor de tráfico:
- Se configuró sFlow para monitorear el tráfico de red.
- Se abrieron terminales específicas para los hosts 1, 2, 3 y 4 utilizando
  *xterm h1 h2 h3 h4.*

**6. Establecimiento de servidor web:**

- El host 1 se configuró como servidor web en el puerto 80 utilizando el comando:
  *python3 -m http.server 80&*
- Los hosts restantes h2, h3 y h4 realizaron pruebas de conectividad utilizando wget hacia el servidor en el host 1 como se puede ver en la Figura 7:
  *wget -o 10.0.0.1*



**Figura 7. Establecimiento de servidor web y conexión**

**7. Lanzamiento del ataque DDoS:**

- Los hosts 2, 3 y 4 simularon un ataque de inundación de paquetes hacia el puerto 80 del host 1 utilizando Hping3 como podemos ver en la Figura 8:

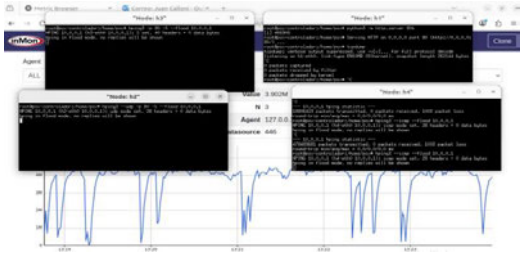


**Figura 8. Ataque triple de 3 host diferentes**

- Estos comandos generaron un gran volumen de paquetes TCP/SYN para saturar el servidor web del host 1, Como podemos observar en las Figuras 9 y 10 de capturas de datos mediante scripts generados en Python. En estas Figuras se puede observar claramente cómo se inunda de paquetes y se genera un ataque DDoS, como también la verificación del bloqueo en el ataque. Se realizaron pruebas de ataques SYN, UDP e ICMP Flood sobre un controlador SDN utilizando hping3. Se aplicaron mecanismos de defensa como firewall en POX y policing en OVS. Las métricas fueron capturadas con sFlow y analizadas mediante scripts automatizados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



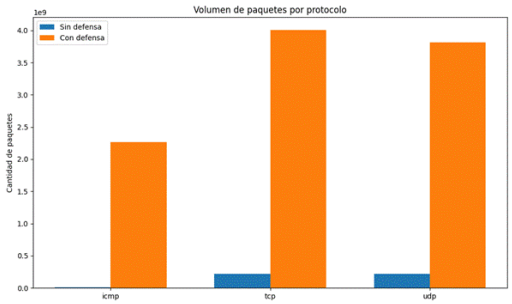



**Figura 9. Cantidad total de paquetes ICMP, UDP y TCP enviados por los hosts atacantes**

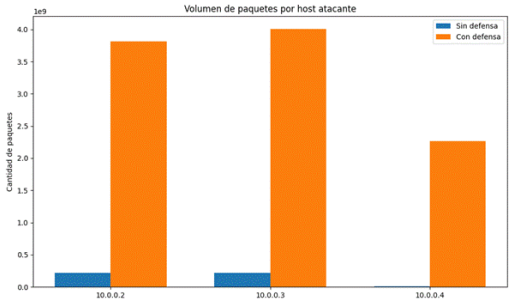



**Figura 10. Total de paquetes enviados por cada host**

En las figuras 9 y 10 se muestran cómo los paquetes UDP y TCP fueron significativamente reducidos al aplicar las defensas, mientras que ICMP también fue contenido.

- Sin defensa: los tres protocolos muestran volúmenes elevados, especialmente TCP y UDP.
- Con defensa: se observa una caída drástica en todos los protocolos, lo que indica que las reglas de firewall y policing están funcionando correctamente.

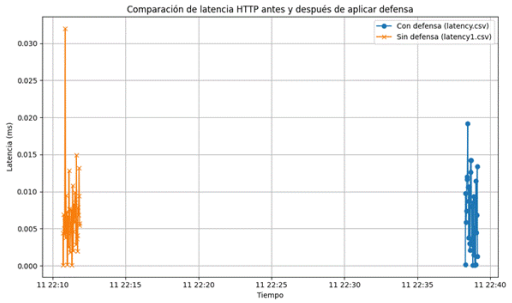



**Figura 11. Variación de la latencia del servicio en ambos escenarios**

En la Figura 11 observamos que la latencia se mantuvo estable y baja con defensa activa, mientras que sin defensa se observaron picos y variabilidad.

- Sin defensa: la latencia es más variable y presenta picos más altos, lo que indica congestión o saturación del controlador.
- Con defensa: la latencia se mantiene más estable y baja, lo que sugiere que el firewall y el policing ayudaron a preservar la calidad del servicio.

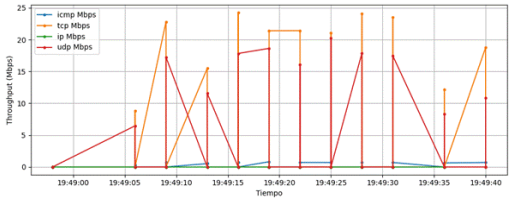



**Figura 12. ICMP, TCP, UDP, IP con ataque controlado**

El throughput está limitado, con valores moderados, indicando que las defensas están filtrando y controlando el tráfico, lo que visualizamos en la Figura 12.

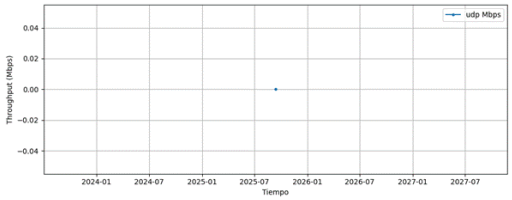



**Figura 13. ICMP, TCP, UDP, IP bajo ataque**

Se muestra en la Figura 13 UDP, con throughput cercano a 0 Mbps.

Esto puede indicar que el tráfico no fue procesado correctamente, o que el servicio estaba caído por saturación. Analizando la muestra, observamos que en todos los registros obtenemos 0 Mbps, lo que coincide con la imagen. Esto refuerza la hipótesis de que, sin defensa, el servicio colapsó y no pudo recibir tráfico.

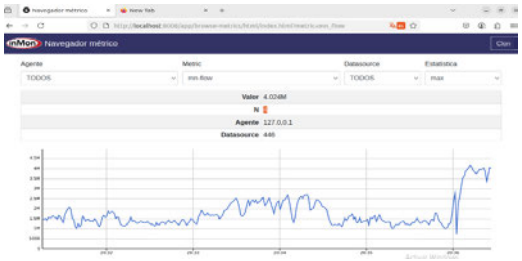



**Figura 14. Tráfico de red durante ataque DDoS combinado**

La Figura 14 presenta la métrica mn_flow obtenida mediante sFlow-RT durante la ejecución simultánea de tres ataques de denegación de servicio distribuido (DDoS): UDP Flood (h2), SYN Flood (h3) e ICMP Flood (h4) contra el servidor web h1. El eje vertical indica el volumen de tráfico en paquetes por segundo (pps), mientras que el eje horizontal representa la evolución temporal del experimento.

Se observa un incremento progresivo del tráfico desde valores cercanos a 1.5 Mpps hasta superar los 4 Mpps, acompañado de fluctuaciones constantes que reflejan la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



superposición de los distintos vectores de ataque. Hacia el final del registro se aprecia un aumento abrupto y sostenido, característico de la fase de mayor intensidad del ataque.

Este comportamiento evidencia la capacidad de los ataques distribuidos para saturar el plano de datos y comprometer los recursos del controlador SDN, lo que justifica la implementación de mecanismos de mitigación como reglas de firewall en POX y políticas de ingress policing en OVS para contener el impacto observado.

## 8. Mitigación del Ataque DDoS Firewall y reglas de policing en OVS en POX

Activación del firewall y las reglas de policing en OVS en POX:

- Se activó el firewall y las políticas en OVS en POX para mitigar el ataque con el siguiente comando:

*./pox.py verbose forwarding.l2_learning forwarding.l3_learning misc.firewall*

- El firewall impuso reglas que bloquearon la comunicación de los hosts atacantes (h2, h3, h4) con el servidor en el host 1, permitiendo que otros hosts siguieran accediendo al servidor.
- Las reglas de policing en OVS permitió limitar el tráfico en el plano de datos y mejorar la estabilidad del controlador.

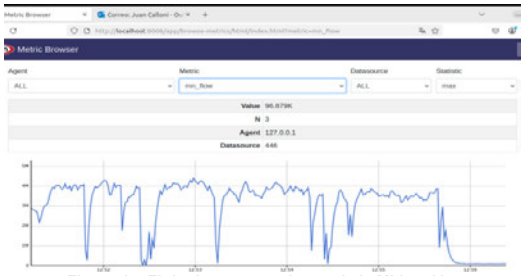



**Figura 15. Flujo de paquetes luego de la Mitigación**

La gráfica de la Figura 15 demuestra que, tras la aplicación de las reglas de firewall en el controlador POX y la limitación de tráfico en OVS:

- El tráfico malicioso fue mitigado (se redujo la tasa de paquetes observados en el switch).
- El servidor web permaneció disponible, ya que el tráfico legítimo pudo seguir fluyendo.
- Se consiguió estabilizar el plano de datos, evitando la saturación continua observada durante los ataques sin mitigación.

Se puede observar que la dinámica del flujo de paquetes en el switch una vez que se activaron los mecanismos de defensa. La gráfica revela que, aunque los atacantes continúan inyectando tráfico malicioso, lo que se refleja en los picos que alcanzan hasta 4 millones de paquetes por segundo, las defensas logran contener el ataque de manera efectiva. Las caídas pronunciadas y recurrentes son el resultado directo de la aplicación de reglas de descarte (drop) por parte del firewall en POX y de la limitación de tasa (policing) en la interfaz del switch. Esta irregularidad demuestra que el sistema no está saturado, sino que está filtrando activamente el ataque. La eventual estabilización del tráfico en niveles bajos hacia el final del registro confirma que la estrategia de defensa combinada es exitosa para preservar la integridad de la red.

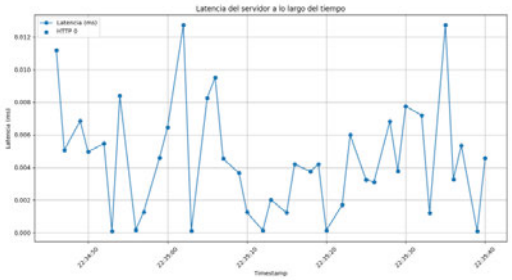



**Figura 16. Latencia con Mitigación**

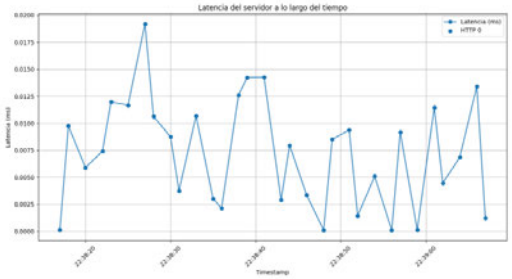



**Figura 17. Latencia con ataque Sin Mitigación**

La Figura 16 muestra la latencia registrada en el servidor web durante la ejecución del ataque con las defensas activas (reglas en POX y policing en OVS). Se observa que los valores se mantienen en un rango estable de 0.0 a 0.012 s, con oscilaciones moderadas. A pesar de la presencia de picos puntuales, la latencia general permanece controlada, lo que indica que el servicio mantiene su disponibilidad frente al tráfico malicioso.

En contraste, la Figura 17 refleja la latencia durante el ataque sin mecanismos de defensa. En este escenario, los valores alcanzan picos más elevados, llegando hasta 0.019 s, con una variabilidad mayor respecto al escenario mitigado. Esto evidencia una degradación más pronunciada en la calidad de servicio y un mayor impacto del ataque sobre la capacidad de respuesta del servidor.

La comparación entre ambas figuras confirma que la aplicación de defensas reduce significativamente la variabilidad de la latencia y atenúa los picos más altos. Mientras que sin mitigación el servidor experimenta respuestas más erráticas y con mayores tiempos de espera, con mitigación se logra una mayor estabilidad en el rendimiento. Si bien existe un ligero costo en términos de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



procesamiento adicional (latencia no se reduce a cero), el servicio permanece disponible y funcional, lo que valida la efectividad del enfoque de firewall y policing en la infraestructura SDN.

### 5.3. Explicación del código implementado como mecanismo de defensa en el firewall

*sudo ovs-vsctl set interface s1-eth4 ingress_policing_rate=1000 ingress_policing_burst=1000*

- ovs-vsctl → es la herramienta de línea de comandos para administrar la configuración de Open vSwitch.
- set interface s1-eth4 → indica que se va a modificar la interfaz de red llamada s1-eth4 (un puerto del switch lógico s1 en Mininet).
- ingress_policing_rate=1000 → define la tasa máxima de tráfico entrante permitida en esa interfaz.
    - El valor está en kilobits por segundo (kbps).
    - En este caso, 1000 kbps = 1 Mbps.
    - Todo tráfico por encima de esa tasa será descartado (drop).

ingress_policing_burst=1000 → establece el tamaño del "bucket" de ráfagas que permite sobrepasar temporalmente la tasa máxima antes de empezar a descartar.

Este comando es una forma de mitigación local contra ataques volumétricos en SDN: se limita el ancho de banda de un host atacante directamente en el puerto del switch, reduciendo la saturación del plano de datos y protegiendo al controlador. Interpretación de valores

- rate bajo (ej. 500–1000 kbps): protege fuertemente al switch/servidor → adecuado contra ataques intensos.
- rate medio/alto (5–10 Mbps): permite más tráfico legítimo, pero aún filtra ataques de gran volumen.
- burst pequeño: corta casi inmediatamente cualquier ráfaga → menos tolerancia a picos legítimos.
- burst grande: permite absorber picos cortos (útil si hay tráfico real que varía mucho).

**Implementación de Firewall en POX**

El código implementa un firewall SDN utilizando el controlador POX, que maneja flujos de red para bloquear ataques de denegación de servicio distribuido (DDoS) entre los hosts especificados. El controlador toma decisiones para manipular el tráfico de red, en este caso, bloquear ciertas comunicaciones entre hosts [33] [34].

Se desarrolló un módulo en Python para el controlador POX, cuyo objetivo es mitigar ataques de denegación de servicio (DDoS) hacia el servidor de la red SDN. El firewall se activa al producirse el evento ConnectionUp, es decir, cuando un switch OpenFlow establece conexión con el controlador. En ese momento se instalan reglas proactivas de filtrado (flow_mod) en el switch, con prioridad elevada, para bloquear el tráfico malicioso proveniente de los hosts identificados como atacantes.

Las reglas implementadas permiten:

1. Bloqueo específico por protocolo:
    - ICMP Flood (nw_proto = 1).
    - UDP Flood hacia puerto 80 (nw_proto = 17).
    - TCP SYN Flood hacia puerto 80 (nw_proto = 6).
2. Bloqueo por capa de enlace y de red:
    - Dirección IP origen (nw_src).
    - Dirección MAC origen (dl_src).
    - Puerto de entrada en el switch (in_port).
3. Regla general de respaldo:
    - Descarta cualquier tipo de tráfico proveniente de las IPs atacantes hacia el servidor, con prioridad media, garantizando que no quede un vector abierto.

De este modo, el módulo actúa como un firewall distribuido y programable, integrando la lógica de seguridad en el plano de control de la red SDN.

- Se activa cuando un switch se conecta al controlador.
- Instala **reglas DROP en Open vSwitch** contra IPs específicas (10.0.0.2–10.0.0.4).
- Bloquea **ataques ICMP, UDP y TCP** hacia el servidor (10.0.0.1).
- Además asegura el bloqueo por **puerto físico (in_port)** y **dirección MAC**.
- Incluye una regla de **backup global** para descartar cualquier tráfico que logre pasar.

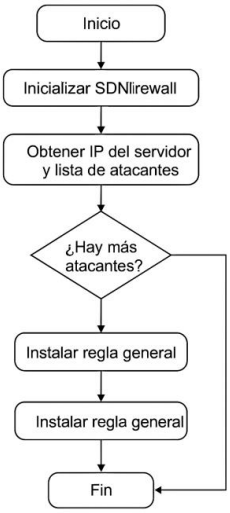



**Figura 18. Diagrama de Flujo simple del código Firewall**

El diagrama simple que generamos en la Figura 18 muestra el flujo de funcionamiento del firewall SDN en POX:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



1. Inicio / Lanzamiento del módulo:
   Se carga el script firewall.py y se inicializa la clase SDNFirewall.
2. Conexión del switch al controlador:
   Cuando un switch se conecta, se activa el evento _handle_ConnectionUp.
3. Definición de variables clave:
   - IP del servidor protegido (10.0.0.1).
   - Lista de hosts atacantes con IP, puerto de entrada y MAC.
   - Prioridades para las reglas (alta = 65000, media = 60000).
4. Instalación de reglas específicas por atacante:
   - Bloqueo ICMP: Evita ataques de tipo ping flood.
   - Bloqueo UDP: Evita ataques UDP Flood dirigidos al puerto 80.
   - Bloqueo TCP: Previene ataques SYN Flood hacia el puerto 80 (HTTP).
   - Bloqueo por puerto de entrada (in_port): Detiene tráfico desde interfaces comprometidas.
   - Bloqueo por MAC origen (L2): Filtra tráfico malicioso desde direcciones físicas conocidas.
5. Regla general de respaldo (prioridad media):
   Cubre cualquier otro tráfico IP desde los atacantes hacia el servidor, como medida de seguridad adicional.
6. Confirmación:
   El firewall informa que las reglas fueron instaladas en el switch.

El diagrama describe cómo el firewall detecta la conexión del switch, genera reglas específicas y generales para bloquear tráfico malicioso ICMP, UDP y TCP, y asegura al servidor centralizado contra múltiples vectores de ataque.

## 6. Desviaciones

Durante el desarrollo experimental se identificaron diversas desviaciones y limitaciones que condicionaron parcialmente los resultados:

- Fluctuaciones en la latencia de Mininet durante la simulación de tráfico intensivo, que afectaron la estabilidad temporal de las mediciones;
- Retrasos en la propagación de reglas OpenFlow generados por el tiempo de instalación de flows en los switches virtuales;
- Sobrecarga en el controlador POX al incrementar el número de eventos concurrentes, ocasionando pérdida de paquetes de control en escenarios extremos;
- Variabilidad en las métricas de rendimiento del firewall debida al uso compartido de CPU en entornos virtualizados; y

Estas desviaciones se consideran parte del comportamiento esperado en entornos de experimentación SDN y constituyen una base empírica valiosa para ajustar los parámetros de simulación, optimizar el controlador y ampliar las pruebas hacia arquitecturas distribuidas en futuras etapas.

## 7. Conclusión

El análisis previo de los ataques SYN Flood, UDP Flood e ICMP Flood en entornos SDN permitió confirmar que la centralización del controlador incrementa la efectividad de los ataques DDoS, y que cada uno de ellos impacta de manera diferenciada sobre los recursos de la red (CPU, ancho de banda o conectividad). Los resultados experimentales obtenidos muestran que, aunque las SDN ofrecen flexibilidad, presentan mayor susceptibilidad a DDoS que arquitecturas tradicionales.

Asimismo, se observó que las defensas inicialmente previstas, como el firewall en POX, no fueron suficientes para contener todos los ataques, lo que llevó a incorporar reglas de policing en OVS como medida complementaria. Esta estrategia permitió reducir el tráfico malicioso, estabilizar la latencia y bloquear completamente el throughput hacia el servidor.

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de contar con estrategias de defensa adaptativas y multidimensionales, capaces de evolucionar en función del comportamiento del tráfico y de los resultados observados en tiempo real. Las redes SDN ofrecen una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación para implementar medidas de seguridad, como la mitigación de ataques DDoS. El controlador POX resultó adecuado para gestionar el tráfico de red y aplicar políticas de seguridad de manera dinámica. El firewall implementado permitió bloquear parte del tráfico malicioso y reducir el impacto de los ataques DDos.

## 8. Trabajos Futuros

- Aplicar técnicas de inteligencia artificial (SVM, Random Forest, aprendizaje profundo) para la detección temprana de patrones de tráfico anómalo.
- Desarrollar estrategias de mitigación distribuidas, incorporando cooperación entre múltiples controladores SDN.
- Evaluar la integración de IDS/IPS híbridos con políticas de firewall dinámicas en tiempo real.
- Ampliar las pruebas a topologías más complejas y con servicios críticos para validar la escalabilidad de las defensas.

Estas líneas futuras buscan construir un ecosistema SDN más resiliente y seguro frente a ciberataques DDoS.

## Referencias

[1] J. P. Omer Yoachimik, «Informe sobre las amenazas DDoS en el 2º trimestre de 2024,» cloudflare, 07 2024. [En línea]. Available: https://blog.cloudflare.com/es-es/ddos-threat-report-for-2024-q3/. [Último acceso: 8 2024].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[2] Akamai, «what-is-ddos,» Akamai, 2024. [En línea]. Available: https://www.akamai.com/es/glossary/what-is-ddos. [Último acceso: 9 2025].

[3] K. R. A. Bert Kondruss, «Principales ciberataques a la industria de la aviación en 2024,» konbriefing, 3 2025. [En línea]. Available: https://konbriefing.com/en-topics/cyber-attacks-2024-ind-aviation.html. [Último acceso: 9 2025].

[4] R. d. Ciberseguridad, «Revista de Ciberseguridad,» Revista de Ciberseguridad, 3 2024. [En línea]. Available: https://www.revistaciberseguridad.com/2024/03/mas-de-30-aeropuertos-en-europa-han-sido-victimas-de-ataques-ddos-desde-que-comenzo-la-guerra-en-ucrania/. [Último acceso: 9 2025].

[5] i. d. security, «it digital security,» 2024, 3. [En línea]. Available: https://www.itdigitalsecurity.es/actualidad/2024/03/se-incrementan-un-24-los-ciberataques-en-aeropuertos. [Último acceso: 9 2025].

[6] wikipedia, «From Wikipedia, the free encyclopedia,» wikipedia, 3 2024. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Anonymous_Sudan. [Último acceso: 9 2025].

[7] Ashley Stephenson, «Forbes Technology Council,» Forbes Technology Council, 4 2025. [En línea]. Available: https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2025/04/01/from-script-kiddies-to-ai-cybercriminals-the-weaponization-of-genai-in-ddos-attacks/. [Último acceso: 9 2025].

[8] vscanner, «DDoS Attack Trends for 2025 and the Impact of Artificial Intelligence,» vscanner, 1 2025. [En línea]. Available: https://vscanner.ai/blog/ddos-attack-trends-for-2025-and-the-impact-of-artificial-intelligence. [Último acceso: 9 2025].

[9] J. R. Cuesta, «Seguridad en Redes definidas por software (SDN),» Universitat Politècnica de València, Valencia, 2021.

[10] A. A. N. S. M. N. a, «SDN cibersegura: un enfoque basado en CNN para la detección y mitigación eficiente de ataques DDoS,» *Computadoras y seguridad,* vol. 139, nº https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.103716, p. https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.103716, 2024.

[11] R. E. M. Huamaní, «ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INTRUSOS (IDS) EN REDES SDN,» Lima, 2020.

[12] O. I. Torres Aguilar, «Obtención de un modelo de detección de ataques de denegación de servicios en redes SDN en mininet mediante aprendizaje de máquina,» de *https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26449/1/UPS-CT010993.pdf*, Cuenca Ecuador, 2023.

[13] A. H. Abdi, L. Audah, A. Salh, M. A. Alhartomi, H. Rasheed y S. Ahmed, «Control de seguridad y planos de datos de SDN: una revisión exhaustiva de los enfoques tradicionales, de IA y MTD para soluciones de seguridad,» vol. Vol 12, nº págs. 69941-69980, 2024.

[14] B. V.-S. a. S. S.-P. y. J. J. P.-A. Line Yasmin Becerra-Sánchez a, «Uso de Mininet y Openflow 1.3 para la enseñanza e investigación en redes IPv6 definidas por software,» ACOFI, 2017. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/318964590_Uso_de_Mininet_y_Openflow_13_para_la_ensenanza_e_investigacion_en_redes_IPv6_definidas_por_software. [Último acceso: 10 3 2025].

[15] purestorage, «¿Qué son las redes definidas por software?,» purestorage, 2018. [En línea]. Available: https://www.purestorage.com/es/knowledge/what-is-software-defined-networking.html. [Último acceso: 4 2025].

[16] A. P. Blanco, «Redes definidas por software o SDN: qué son y ventajas,» Trvenque Group, 2024. [En línea]. Available: https://www.cloudcenterandalucia.es/blog/redes-definidas-por-software-o-sdn-que-son-y-ventajas/. [Último acceso: 8 2024].

[17] N. J. R. Gil, «Análisis De Factibilidad Del Uso De Redes Sdn Omada En La Universidad Técnica De Babahoyo,» Universidad Técnica De Babahoyo Facultad De Administración, Finanzas E Informática, Babahoyo, 2024.

[18] R. D. P. Lubna Fayez Eliyan, «Ataques DoS y DDoS en redes definidas por software: un estudio de las soluciones existentes y los desafíos de la investigación,» *Elseiver,* vol. Vol 122, nº https://doi.org/10.1016/j.future.2021.03.011, pp. páginas 149-171, 9 2021.

[19] S. Rekhi, «Componentes y mecanismos de seguridad SCM,» NIST, 10 2022. [En línea]. Available: https://www.nist.gov/itl/csd/security-components-and-mechanisms. [Último acceso: 8 2024].

[20] Fortinet, «¿Qué es la defensa en profundidad?,» Fortinet, 2023. [En línea]. Available: https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/defense-in-depth. [Último acceso: 8 2024].

[21] Mitre, «Lista CVE Mitre,» Mitre, 2024. [En línea]. Available: https://cve.mitre.org/cgi-bin/cvekey.cgi?keyword=ddos. [Último acceso: 8 2024].

[22] S. C. G. Puertas, «MITRE ATT&CK aplicado a la relación con los controles de seguridad en entornos Cloud,» UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA , CASTILLA-LA MANCHA , 2020.

[23] cloudflare, «Cómo prevenir los ataques DDoS | Métodos y herramientas,» cloudflare, 2023. [En línea]. Available: https://www.cloudflare.com/es-es/learning/ddos/how-to-prevent-ddos-attacks/. [Último acceso: 8 2024].

[24] N.-A. L.-K. ,. S. M. M. A. A. ,. a. A. D. J. Mahmoud Said El Sayed, «A Flow-Based Anomaly Detection Approach With Feature Selection Method Against DDoS Attacks in SDNs,» *IEEE TRANSACTIONS ON COGNITIVE COMMUNICATIONS AND NETWORKING,* vol. 8, nº 4, pp. 1862-1880, 2022.

[25] E. V.-R. J. A. P.-D. E. J. A. C. M.-C. NOE M. YUNGAICELA-NAULA, «Physical Assessment of an SDN-Based Security Framework for DDoS Attack Mitigation: Introducing the SDN-SlowRate-DDoS Dataset,» 30 4 2023. [En línea]. Available: Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2023.3274577. [Último acceso: 9 2025].

[26] J. V. S. R.-G. C. G. ,. S. G. ,. F. B. ,. J. L. Q.-A. ,. J. A. P.-D. JORGE BUZZIO-GARCÍA, «Exploring Traffic Patterns Through Network Programmability: Introducing SDNFLow a Comprehensive OpenFlow-Based Statistics Dataset for Attack Detection,» 25 3 2024. [En línea]. Available: Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2024.3378271. [Último acceso: 9 2025].

[27] M. S. Z. B. I. A. A. E. A. N. A. A. T. A. A. A. A. U. D. M. ABDUSSALAM AHMED ALASHHAB, «Enhancing DDoS Attack Detection and Mitigation in SDN Using an Ensemble Online Machine Learning Model,» 16 4 2024. [En línea]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10489935. [Último acceso: 8 2025].

[28] D. F. J. E. R. A. R. F.-M. MARÍA B. JIMÉNEZ, «A Filtering Model for Evidence Gathering in an SDN-Oriented Digital Forensic and Incident Response Context,» 4 6 2024. [En línea]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10539103. [Último acceso: 8 2025].

[29] A. K. a. A. K. Verma, «Una revisión exhaustiva sobre las redes definidas por software (SDN) y los ataques DDoS: ecosistema, taxonomía, ingeniería de tráfico, desafíos y direcciones de investigación,,» *Revista de Ciencias de la Computación,* vol. Vol 55, p. p. 100692, 2025.

[30] E. A. E. G. A. I. a. E. O.-I. A. O. Otiko, «Un estudio sobre métodos de IA para la detección de ataques DDoS en redes.,» *Artículo no AIR.122654,* vol. Vol 25, nº no 5, p. pp. 256–271, 2024.

[31] CVE, «cve.mitre,» cve.mitre, 2024. [En línea]. Available: https://cve.mitre.org/cgi-bin/cvekey.cgi?keyword=SDN. [Último acceso: 2024].

[32] CVE, «cve.mitre DDoS y Web,» cve.mitre, 2024. [En línea]. Available: https://cve.mitre.org/cgi-bin/cvekey.cgi?keyword=DDoS+en+Web. [Último acceso: 2024].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[33] W. Robbie, «7 POX Firewall,» Wang Robbie, 2020. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=fzqVR4-oeso&t=13s. [Último acceso: 8 2024].

[34] McCauley, «Installing POX,» Sphinx, 2015. [En línea]. Available: https://noxrepo.github.io/pox-doc/html/. [Último acceso: 8 2024].

[35] A. S. Fernandez, «Detección del vulnerabilidades y control de gestión a través de SDN,» Telecomunicación Politécnica Campus Sur, 2020. [En línea]. Available: https://oa.upm.es/53046/1/TFG_ANGEL_SEGOVIA_FERNANDEZ.pdf. [Último acceso: 10 3 2025].

[36] D. J. R. SUAVITA, «Análisis de vulnerabilidades a nivel de seguridad en redes sdn para los planos de control y plano de datos,» Universidad Militar nueva granada Bogotá, 2021. [En línea]. Available: https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/55ca1447-edc8-4d47-bbc9-4674dc30b02c/content. [Último acceso: 4 2025].

[37] C. A. C. F. Johan Eduardo Cáceres Guevara, «Arquitectura y funcionamiento de redes definidas por software (SDN),» Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas., Bogotá. Colombia, 2021.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Implementación de un Contrato Inteligente para la Certificación de Documentos Universitarios en la Blockchain Federal Argentina

*Martín Córdoba [1]; Matías Cassani [1]; Ignacio Favro [1]; Ignacio González Rover [1]; Agustin Sorti[1]*
*[1] Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María - Av. Universidad 450*
*[1] sistemas@frvm.utn.edu.ar*

## Resumen

Se presentan los avances en el desarrollo e implementación de un contrato inteligente (Smart Contract) desplegado en la Blockchain Federal Argentina (BFA) para garantizar la integridad, trazabilidad y verificación de documentos emitidos por la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. El proyecto surge de la necesidad de contar con una solución soberana, de costo cero en operación y libre de dependencias de plataformas con costos por transacción. El contrato inteligente desarrollado permite el registro de hashes criptográficos de documentos, asociándolos de manera inequívoca a un usuario y un timestamp de la blockchain, fue implementado en Solidity, siguiendo las mejores prácticas de seguridad y optimización de gas. El documento detalla la arquitectura de la solución, el proceso de despliegue en los entornos de test y producción de la BFA y las funcionalidades del contrato, junto con el análisis de seguridad realizado.

## Palabras clave

Blockchain, Contrato Inteligente, BFA, Certificación Documental, Solidity, Universidad, Hyperledger Besu, Integridad de datos.

## Introducción

Este trabajo presenta los avances en el desarrollo e implementación de un contrato inteligente (Smart Contract) desplegado en la Blockchain Federal Argentina (BFA) para garantizar la integridad, trazabilidad y verificación de documentos emitidos por la Facultad Regional Villa María de la Universidad Tecnológica Nacional. El proyecto surge de la necesidad de utilizar una Blockchain libre de dependencias de plataformas privativas. El contrato inteligente, denominado StamperUTNFRVM_V4, permite el registro de hashes criptográficos de documentos, asociándolos de manera inequívoca a un usuario y un timestamp de la blockchain.

Las tecnologías de registro distribuido (DLT), y particularmente blockchain, emergen como una solución para este desafío. Al proporcionar descentralización, inmutabilidad, transparencia y trazabilidad, blockchain permite construir sistemas de verificación de información donde la confianza se distribuye entre múltiples participantes, sin depender de una autoridad central.

Tradicionalmente, la certificación de documentos se ha apoyado en procesos manuales o sistemas centralizados, los cuales pueden presentar vulnerabilidades, ser costosos de auditar y generar dependencia de un único proveedor. Este trabajo se enmarca en un proyecto de investigación más amplio del grupo de la UTN-FRVM, cuyo objetivo es explorar e implementar soluciones blockchain descentralizadas para procesos universitarios.

La elección de la Blockchain Federal Argentina (BFA) como plataforma subyacente se fundamenta en su naturaleza de red pública permisada, su soberanía tecnológica y la ausencia de costos de transacción, lo que elimina barreras económicas para su adopción institucional. “Necesitan firmar un acuerdo con BFA para recibir, sin costo, Ether, para utilizar como el combustible necesario para enviar transacciones a la blockchain. NO DEBEN enviar Ether a otras cuentas (incluyendo contratos). Ver más sobre Ether en 1.6 Funcionamiento de la Destilería de Ether.” [2]. Este artículo se centra en la fase de desarrollo, despliegue y análisis del contrato inteligente mencionado anteriormente, que actúa como el núcleo lógico para el sellado de documentos en la BFA.

La evolución de este trabajo se realizó tomando como base inicial lo desarrollado el año anterior con el contrato inteligente básico y a partir de ahí, se realizó el análisis del mismo, se fueron presentando diferentes versiones para modificar los métodos y que tuviesen mayor control, dando respuestas a peticiones de una nueva implementación de API que invoca a este contrato. A partir de esto podemos decir que las Aplicaciones externas envían solicitudes (ej. sellar un documento). Una API traduce esas solicitudes en transacciones válidas para la blockchain. El Contrato Inteligente, ejecuta las reglas de negocio (sellado, validación, permisos) y BFA registra los datos de manera inmutable y auditable. Este trabajo se enfoca en estos dos últimos ítems.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Marco Teórico y Estado del Arte

Blockchain en el Sector Educativo
La aplicación de blockchain en educación se ha orientado principalmente a la gestión de credenciales académicas, mediante iniciativas como Blockcerts [3]. Estos sistemas permiten a los estudiantes ser propietarios de sus registros y compartirlos de forma verificable con empleadores u otras instituciones. El valor reside en la creación de un ecosistema de confianza sin necesidad de una autoridad centralizada para validar cada documento.

La Blockchain Federal Argentina (BFA)
BFA es una iniciativa conjunta entre el Estado Argentino, universidades y el sector privado para proveer una infraestructura blockchain confiable y soberana. Es una red basada en Hyperledger Besu (compatible con la Máquina Virtual de Ethereum - EVM), lo que permite ejecutar contratos inteligentes escritos en Solidity. Al ser una red permisada, los nodos son operados por instituciones validadas, lo que agrega una capa de confianza y gobernanza a la infraestructura, diferenciándose de blockchains públicas permissionless como Ethereum Mainnet [2, 4]. Nuestra Facultad Regional es miembro de la Blockchain Federal Argentina desde el año 2022.

## Aplicaciones previas relacionadas

El uso de la tecnología Blockchain para garantizar la integridad y trazabilidad de la información pública y académica ha sido explorado por diversas instituciones en Argentina [7], evidenciando una tendencia hacia la adopción de infraestructuras distribuidas con fines de transparencia y confianza digital.

- Cámara de Diputados

Voto electrónico. El diputado emite el voto y el sistema genera un archivo en formato PDF que está vinculado a un "Hash", que es un código que queda registrado en la red Blockhain Federal y no permite la edición ni la manipulación de ese archivo.

- DIDI

Proyecto DIDI ha desarrollado e implementado el primer modelo de identidad digital auto-soberana de América Latina basado en Blockchain, con el objetivo de disminuir la asimetría informativa que afecta a personas que se desenvuelven en entornos de informalidad dificultando su acceso a bienes y servicios de calidad. Es un porta documento digital. Certifica que los datos sean verdaderos.

- NIC Argentina

NIC Argentina certifica listados con los dominios que fueron dados de alta y transferidos durante la jornada a través de BFA. Los mismos son publicados a diario en https://rdlist.nic.ar/rd_list/ y, de esta manera, se puede confiar en que los datos son inmutables.

- KYAS SRL

Kyas ha desarrollado y trabaja continuamente en la actualización y soporte del SITC -Sistema Informático de Trazabilidad Citrícola. Este sistema es utilizado por SENASA para administrar la información de trazabilidad de la producción de citrus que se exporta desde Argentina a los múltiples mercados de destino de la fruta fresca. Está operativo desde el 2003 y ha sido auditado en numerosas oportunidades por inspectores de los países de destino. Son usuarios del mismo todos los productores, empacadores, exportadores, despachantes de aduana, funcionarios de SENASA, Federcitrus, AFINOA, CECNEA.

## Metodología y Desarrollo

El proyecto se ejecutó en tres etapas principales: Configuración de la infraestructura de nodos; desarrollo iterativo del contrato inteligente, despliegue y pruebas.

**Configuración de Infraestructura de nodos**
Se desplegaron dos nodos en un cluster Proxmox de la facultad, utilizando máquinas virtuales con sistema operativo Debian:

- Nodo de Test: Se implementó utilizando la imagen Docker oficial provista por BFA [4], superando los inconvenientes de dependencias en una instalación nativa. Este entorno permite realizar la ejecución de las operaciones en un ambiente controlado y como buenas prácticas recomendadas.
- Nodo Transaccional: Siguiendo la documentación de BFA, se configuró un nodo transaccional, que es el tipo de nodo autorizado para enviar transacciones a la red principal y poner en producción los contratos inteligentes (Figura 1).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 1: Tipos de nodos en la arquitectura BFA y su interacción [2].
*(Ilustración original del paper, basada en la documentación de BFA)*

**Desarrollo iterativo del Contrato Inteligente**
El contrato StamperUTNFRVM_V4 fue desarrollado en Solidity (v^0.5.4+) y se estructuró en iteraciones:

- **v1:** Funcionalidades básicas: registro y verificación de hashes.
- **v2:** Adición de identificación de usuario (idUsuario) para trazar el autor del registro.
- **v3/v4:** Revisión de seguridad exhaustiva e implementación de mejores prácticas.

Arquitectura del Contrato:

- Estructura de Datos: Utiliza una estructura Stamp que contiene el hash, idUsuario y el número de bloque.
- Almacenamiento: Emplea mappings y arrays para almacenar los registros, optimizando las consultas mediante EnumerableSet de la librería OpenZeppelin para evitar duplicados y permitir búsquedas eficientes [5].
- Control de Acceso: Implementa un patrón Ownable donde solo el propietario del contrato o direcciones explícitamente autorizadas pueden ejecutar funciones críticas como el registro de hashes [6].
- Eventos: Emite eventos (Stamped, ListMaxLengthChanged, AddressAuthorized y AddressRevoked.) para permitir el monitoreo externo y la auditoría de todas las operaciones.
- Límite de procesamiento por transacción: Incluye un límite configurable de hashes por transacción para prevenir el agotamiento de gas (out-of-gas) y posibles ataques.

**Despliegue y pruebas**
El desarrollo siguió un estándar de calidad:

- Seguridad: Uso de require() para validar entradas, evitación de duplicados y control de acceso con modifiers.
- Optimización: Estructuras de datos eficientes para minimizar el costo en gas en cada operación (lectura y escritura).
- Mantenibilidad: Código comentado, convención de nombres clara y separación de responsabilidades en las funciones.
- Auditabilidad: Emisión exhaustiva de eventos para loguear todas las acciones significativas on-chain.

En este proyecto, la BFA fue elegida como plataforma para el registro de documentos de la UTN porque:

- Asegura soberanía tecnológica, se registra la información en una red nacional y federada.
- Permite integrarse con contratos inteligentes habilitando la construcción de soluciones a medida.
- Es ideal para procesos universitarios donde la autenticidad es crítica ya que facilita la trazabilidad y validación administrativa.

BFA cuenta con dos tipos de redes, una red de pruebas llamada red BFA Testnet, la cual tiene la finalidad de ser objetivo de experimentos antes de poder utilizar la red BFA, cuyo objetivo es contener los contratos inteligentes (SM) que se utilizarán en aplicaciones prácticas.
El objetivo del despliegue del nodo es tener un entorno seguro de pruebas proporcionado por la red de nodos de BFA para desplegar y utilizar contratos inteligentes.

Estas funcionalidades básicas eran requeridas para poder aplicarla en distintos sectores de la universidad con el objetivo de poder validar y aumentar la fiabilidad de los documentos que se emitían como los ya existentes; dándole la posibilidad de corroborar que un documento sea el oficial y cualquier cambio en el mismo sea fácil de comprobar, agregando una capa más de seguridad ante las manipulaciones.

**Análisis, desarrollo y despliegue del contrato en la BFA Test**

En el siguiente enlace se puede acceder al repositorio git https://github.com/Blockchain-UTN-FRVM/Stamper-UTN-FRVM/blob/main/contracts/StamperUTNFRVMV4.sol allí se encuentra el contrato, se desarrollo con Solidity y se desplegó sobre el nodo de test y transaccional de la BFA.

Se estableció una línea base para futuros casos de uso, se definió las tareas a realizar en las diferentes áreas de trabajo, logrando abordar cada una de dichas actividades para profundizar su entendimiento y luego poder aplicar sobre una base sólida de conocimiento.

Para una tercera versión del contrato se realizó una revisión de seguridad sobre el contrato inteligente, para identificar posibles riesgos, información sensible utilizada, roles y flujos de funcionamiento del contrato.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Objetivo del contrato

El contrato inteligente “StamperUTNFRVM_V4” tiene como objetivo garantizar la trazabilidad, integridad y verificación de documentos institucionales de la UTN mediante el registro de sus huellas digitales (hashes) en la blockchain de la BFA utilizando las mejores prácticas posibles de contratos inteligentes, optimización de recursos y mayor escalabilidad a futuro.

Su propósito principal es ofrecer una herramienta confiable que permite a diferentes áreas y sectores de la facultad sellar y validar documentos oficiales, evitando alteraciones o falsificaciones.

**Funcionalidades del Smart Contract**

Encabezado (versión del compilador [^0.5.4]): El contrato define la versión de Solidity con la que puede compilarse, asegurando compatibilidad con las funciones disponibles en esta versión. Se mantiene una versión intermedia debido a la compatibilidad con la red objetivo (BFA)

Importación de librerías

- Ownable.sol, ofrece un mecanismo de control de acceso mediante un propietario del contrato, que permite restringir la ejecución de ciertas funciones solo a esa dirección autorizada.
- EnumerableSet.sol, ofrece una estructura de datos para gestionar conjuntos que permiten agregar, eliminar y verificar elementos de forma eficiente, agrega la funcionalidad de enumeración.

```
pragma solidity ^0.5.4;

import "https://github.com/OpenZeppelin/openzeppelin-solidity/blob/v2.5.0/contracts/
ownership/Ownable.sol";
import "https://github.com/OpenZeppelin/openzeppelin-contracts/blob/v2.5.0/contracts/
utils/EnumerableSet.sol";
```

Declaración del contrato: Se establece un contrato inteligente llamado StamperUTNFRVMV4.

```
contract StamperUTNFRVMV4 is Ownable {
    using EnumerableSet for EnumerableSet.AddressSet;
```

Estructura de datos principal: El contrato utiliza una estructura llamada Stamp, que representa un registro individual de información. Cada Stamp contiene un hash, el identificador de usuario asociado (idUsuario) y el número de bloque en el que se realizó el registro.

```
struct Stamp {
    bytes32 hash;
    uint256 idUsuario;
    uint256 blockNo;
}
```

El contrato define una serie de estructuras de almacenamiento diseñadas para garantizar la trazabilidad y eficiencia en la gestión de los registros. La variable stampList mantiene una lista general de todos los registros creados, cada uno representado por la estructura Stamp. El mapeo stampedByUser asocia cada hash con los identificadores de usuario que lo registraron, permitiendo verificar rápidamente si un documento ya fue sellado por un usuario determinado y evitando registros duplicados. A su vez, userStamps relaciona a cada usuario con los índices de sus registros dentro de la lista general, optimizando la consulta de información histórica. Por otra parte, el contrato emplea la estructura EnumerableSet.AddressSet para almacenar las direcciones autorizadas a ejecutar funciones críticas, asegurando un control de acceso transparente y auditable.
La variable hashListMaxLength establece un límite configurable en la cantidad máxima de hashes que pueden procesarse por transacción, previniendo el consumo excesivo de gas y garantizando la estabilidad operativa del sistema.

```
    Stamp[] private stampList;
    mapping(bytes32 => mapping(uint256 => bool)) private stampedByUser;
    mapping(uint256 => uint256[]) private userStamps;

    EnumerableSet.AddressSet private authorizedAddresses;
    uint256 private hashListMaxLength = 100;
```

Eventos (Logs): El contrato emite eventos cada vez que ocurre una acción relevante. Se registran eventos cuando un usuario intenta registrar un hash que ya había registrado antes, cuando un hash es registrado con éxito, cuando se cambia el límite máximo de hashes por transacción y cuando se autorizan o revocan direcciones. Estos eventos permiten monitorear y auditar el uso del contrato desde fuera de la blockchain.

```
    event Stamped(bytes32 indexed hash, uint256 indexed idUsuario, uint256 blockNo,
address contractAddress);
    event ListMaxLengthChanged(uint256 newMaxLength);
    event AddressAuthorized(address indexed authAddress);
    event AddressRevoked(address indexed addressRevoked);
```

Constructor y control de acceso: Al momento de desplegar el contrato, la dirección que lo realiza se asigna como propietario. Esta dirección tendrá permisos para administrar el acceso y realizar configuraciones internas. Sólo el propietario o las direcciones autorizadas por él pueden registrar hashes. Asimismo, únicamente el propietario puede añadir o revocar permisos a otras direcciones, garantizando un control centralizado de la seguridad.

Relacionado con las autoridades, existe un método público para listar las direcciones que el propietario asignó como autorizadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



```
    modifier onlyAuthorized() {
        require(msg.sender == owner() || authorizedAddresses.contains(msg.sender),
            "Address no autorizada"
        );
        _;
    }
    // Autorizar o revocar direcciones
    function authorizeAddress(address authAddress) external onlyOwner {
        require(authAddress != address(0), "Direccion invalida");
        authorizedAddresses.add(authAddress); // no se agregan duplicados gracias a
EnumerableSet
        emit AddressAuthorized(authAddress);
    }

    function revokeAddress(address addressRevoked) external onlyOwner {
        require(addressRevoked != address(0), "Direccion invalida");
        authorizedAddresses.remove(addressRevoked);
        emit AddressRevoked(addressRevoked);
    }

    function getAuthorizedAddresses() external view returns (address[] memory) {
        uint256 authAddressesLength = authorizedAddresses.length();
        address[] memory list = new address[](authAddressesLength);
        for (uint256 i = 0; i < authAddressesLength; i++) {
            list[i] = authorizedAddresses.get(i);
        }
        return list;
    }
```

Validación de tamaño de lista: Para evitar un uso indebido y que la red no cancele la transacción por exceso de gas, el contrato verifica que las listas de hashes enviadas no estén vacías y no superen un tamaño máximo definido. Este límite puede ser modificado únicamente por el propietario, permitiendo ajustar la capacidad del sistema según sea necesario.

```
    function hashListLength(bytes32[] memory hashList) public view returns (bool) {
        return (hashList.length > 0 && hashList.length <= hashListMaxLength);
    }
```

Registro de hashes: La función principal permite registrar múltiples hashes por usuario. Por cada hash, se verifica si ese usuario ya lo había registrado anteriormente. Si es así, se marca como duplicado y se emite un evento indicando que ya estaba registrado. Si no, se agrega a la lista de registros, se actualizan las referencias internas y se emite un evento confirmando el registro exitoso. Al finalizar, la función devuelve dos listas: una con los hashes nuevos registrados y otra con los que ya estaban previamente asociados al usuario.

```
    function postHash(bytes32[] calldata hashList, uint256 idUsuario) external
onlyAuthorized returns (bytes32[] memory, bytes32[] memory) {
        require(hashListLength(hashList), "Tamanio de lista de hashes invalido");

        uint256 hashLength = hashList.length;
        bytes32[] memory tempStamped = new bytes32[](hashLength);
        bytes32[] memory tempAlready = new bytes32[](hashLength);
        uint256 stampedCount = 0;
        uint256 alreadyCount = 0;

        for (uint256 i = 0; i < hashLength; i++) {
            bytes32 hash = hashList[i];

            if (stampedByUser[hash][idUsuario]) {
                tempAlready[alreadyCount] = hash;
                alreadyCount++;
                continue;
            }

            // Registrar nuevo stamp
            stampedByUser[hash][idUsuario] = true;
            stampList.push(Stamp(hash, idUsuario, block.number));
            uint256 newIndex = stampList.length - 1;
            userStamps[idUsuario].push(newIndex);

            tempStamped[stampedCount] = hash;
            stampedCount++;
            emit Stamped(hash, idUsuario, block.number, address(this));
        }

        bytes32[] memory hashesStamped = new bytes32[](stampedCount);
        for (uint256 i = 0; i < stampedCount; i++) {
            hashesStamped[i] = tempStamped[i];
        }

        bytes32[] memory hashesAlreadyStamped = new bytes32[](alreadyCount);
        for (uint256 i = 0; i < alreadyCount; i++) {
            hashesAlreadyStamped[i] = tempAlready[i];
        }

        return (hashesStamped, hashesAlreadyStamped);
    }
```

Parámetros esperados del método *postHash.*

- Parámetro 1: bytes32[] hashList.
- Parámetro 2: uint256 idUsuario.

Ejemplo ilustrativo:

```
decoded input {
  "bytes32[] hashList": [
    "0x1111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111112"
  ],
  "uint256 idUsuario": "1"
}
```

Retorno del método postHash

- Retorno 1: *decoded output*. Dos listas, la primera lista representa los hashes que han sido registrados en el SM, la segunda representa los hashes que ya han sido registrados anteriormente en el SM y en la ejecución del método no se volvieron a registrar.
- Retorno 2 y 3: *logs* y *raw logs*: Información emitida por el evento Stamped.

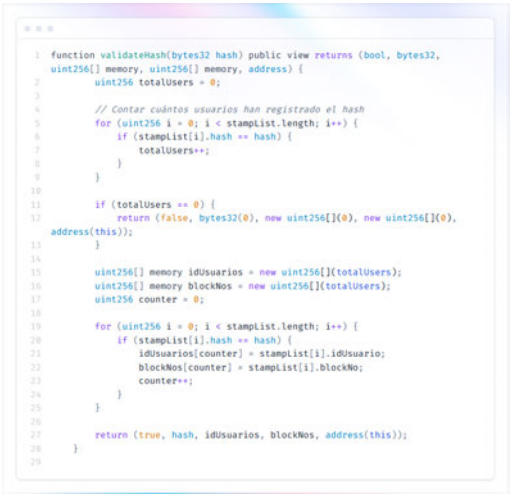
Ejemplo ilustrativo:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Validación de un hash específico: Esta función permite saber si un hash existe o no. Si existe, devuelve información detallada: el hash, los usuarios que lo registraron, los números de bloque donde ocurrió cada registro y la dirección del contrato. Si el hash no existe, devuelve valores vacíos que indican su ausencia.




Parámetros esperados del método validateHash.

- Parámetro 1: *bytes32 hash.*

Ejemplo ilustrativo:

```
0x1111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111112
```

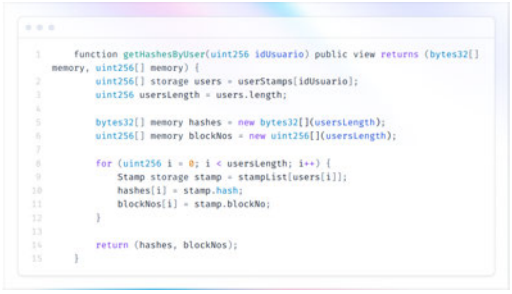
Retorno del método validateHash.

- Retorno 1. *input*. Hash recibido encoded.
- Retorno 2. *output*. Respuesta codificada. ABI encoded.
- Retorno 3. *decoded input*. Hash recibido decoded.
- Retorno 4. *decoded output*. Respuesta codificada en hexadecimal

Ejemplo ilustrativo:




Consulta de hashes por usuario: Esta función permite conocer todos los hashes registrados por un usuario específico. Devuelve la lista de hashes junto con los números de bloque en que fueron registrados. Esta información es útil para auditar la actividad de un usuario o reconstruir su historial de registros.




Con las funcionalidades nombradas anteriormente, el contrato contribuye a fortalecer la seguridad documental dentro de la institución, brindando un mecanismo transparente, auditable y resistente a manipulaciones para la gestión de certificados, actas y otros documentos académicos o administrativos.

## Ejemplos de aplicación en otros sectores

Además de su implementación en los ámbitos educativo y público, este sistema presenta un alto potencial de utilización en el sector empresarial y corporativo, donde la certificación y trazabilidad documental resultan esenciales para garantizar la transparencia, la confianza y la seguridad de la información.

Entre sus principales aplicaciones se destacan:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Sellado de certificaciones, contratos y acuerdos**: El sistema permite registrar en la blockchain versiones firmadas digitalmente de documentos contractuales, asegurando su inmutabilidad y evitando disputas derivadas de posibles alteraciones o manipulaciones posteriores.
- **Auditorías y cumplimiento normativo:** Mediante el registro descentralizado de reportes financieros y auditorías internas o externas, se garantiza la integridad y autenticidad de la información, previniendo modificaciones no autorizadas por parte de agentes internos o externos a la organización

## Conclusiones y Trabajo Futuro

El contrato inteligente desarrollado constituye la base lógica on-chain sobre la que se apoyan los servicios de la API, a la cual se le da respuesta. Su objetivo principal es permitir el registro (sellado) y la validación de documentos digitales en la BFA, garantizando de esta manera la integridad, inmutabilidad y trazabilidad. Este trabajo demostró la viabilidad técnica de implementar una solución de certificación documental universitaria utilizando la BFA. El contrato inteligente desarrollado provee una base sólida, segura y escalable para sellar y verificar documentos de manera confiable, transparente y auditable.

Las ventajas obtenidas son significativas:

- **Tecnológica:** Operación sobre infraestructura nacional de vanguardia, bajo control institucional y con compatibilidad total con el ecosistema global de Ethereum.
- **Económica:** Costo operacional cero gracias al modelo de financiamiento consorciado de BFA, asegurando la sostenibilidad a largo plazo del proyecto.
- **Funcional:** Mecanismos robustos de integridad, no repudio y auditoría integrados en la lógica del contrato. Al ser compatible con EVM, el contrato puede interactuar con una amplia gama de herramientas y librerías del ecosistema Ethereum.

Como trabajo futuro, se planea:

1. Desarrollar una interfaz web (dApp) amigable para que las áreas administrativas puedan interactuar fácilmente con el contrato.
2. Explorar la integración con el sistema de gestión documental existente en la universidad para automatizar el proceso de sellado.
3. Investigar la implementación de estándares como Verifiable Credentials (VCs) para adherir a normativas internacionales de credenciales verificables.

## Referencias

[1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008.

[2] BFA Blockchain Federal Argentina, "Documentación Oficial - Wiki," 2025. [En línea]. Available: https://gitlab.bfa.ar/blockchain/docs/-/wikis/uploads/237b5812528a937e5a8e901ed8107038/20190523_BFA_Pol%C3%ADticas_de_Uso_V1.pdf

[3] J. B. et al., "Blockcerts - The Open Standard for Blockchain Credentials," Learning Machine (ahora Hyland Credentials), 2016.

[4] BFA, "Repositorio Docker para despliegue de nodos," GitLab BFA, 2025. [En línea]. Available: https://gitlab.bfa.ar/docker/bfanodo

[5] OpenZeppelin, "OpenZeppelin Contracts Documentation: EnumerableSet," 2025. [En línea]. Available: https://docs.openzeppelin.com/contracts/5.x/api/utils#EnumerableSet

[6] OpenZeppelin, "OpenZeppelin Contracts Documentation: Access Control," 2025. [En línea]. Available: https://docs.openzeppelin.com/contracts/5.x/api/access

[7] Aplicaciones | Blockchain Federal Argentina (s. f.). BFA , 2025. [En línea]. Available: https://bfa.ar/bfa/aplicaciones

*Capítulo*

# 9

# *Sistemas de Computación y Comunicación de Datos*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Control Inteligente de Iluminación Urbana: Un Enfoque Basado en Sensores y Automatización

*Lautaro Bifano[1], Fidel Aguirre[2], Hugo Mazzeo[3]*
*SEA - CODAPLI - UTN La Plata [1, 2, 3]*
*bifanolautaro@frlp.utn.edu.ar[1], faguirre@frlp.utn.edu.ar[2], hmazzeo@frlp.utn.edu.ar[3]*

## Resumen

*El presente trabajo analiza el diseño y desarrollo de un sistema de control inteligente de iluminación urbana basado en sensores ambientales, actuadores, tecnologías de comunicación y análisis en tiempo real. El objetivo es optimizar el consumo energético y mejorar la eficiencia operativa del alumbrado público en entornos urbanos. A partir de un proyecto de I+D que se está desarrollando en la Universidad Tecnológica Nacional, se discuten los aspectos técnicos del sistema, su potencial de replicabilidad, y su alineación con modelos estratégicos de ciudades inteligentes aplicados al contexto argentino.*

*Se señala especialmente importancia de contar con un desarrollo nacional, de bajo costo y basado en tecnologías libres, que permita a los municipios disponer de una solución accesible y adaptable a sus necesidades. También, se destaca la posibilidad de brindar un servicio a la comunidad al disponibilizar este tipo de sistemas, contribuyendo a la eficiencia energética, la sostenibilidad urbana y la democratización del acceso a tecnologías innovadoras. Se exponen resultados preliminares de laboratorio y se plantean líneas futuras de implementación en escenarios urbanos reales.*

## Palabras Clave

Alumbrado, Inteligente, Eficiencia, Energética, LoRaWAN

## Introducción

La iluminación urbana representa entre el 20 % y el 40 % del consumo eléctrico de los municipios en América Latina, siendo uno de los principales rubros energéticos del gasto público local [2], [3]. En Argentina, diagnósticos recientes indican que las redes de alumbrado público consumen aproximadamente un cuarto del consumo eléctrico municipal y presentan un alto potencial de optimización mediante tecnologías eficientes y estrategias de gestión inteligente [4].

La gestión eficiente de la iluminación urbana es clave para avanzar hacia ciudades más sostenibles y resilientes, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las metas de descarbonización asumidas por los países de la región. Más allá de los beneficios económicos, una mejor gestión permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la seguridad vial y peatonal, y optimizar la percepción de seguridad en los espacios públicos, aspectos fundamentales para la calidad de vida urbana [5], [6].

En este contexto, las tecnologías de control inteligente basadas en sensores y redes de Internet de las Cosas (IoT) han emergido como una alternativa viable y accesible para optimizar el alumbrado público. Estos sistemas integran sensores de movimiento, luminosidad y variables ambientales con algoritmos de control y plataformas de monitoreo en tiempo real, permitiendo ajustar dinámicamente los niveles de iluminación según las condiciones del entorno y la presencia de peatones o vehículos [2], [5].

Las experiencias piloto implementadas en distintas ciudades de la región, incluyendo casos recientes en municipios de Argentina, Chile y Colombia, han demostrado que estas tecnologías pueden reducir entre un 40 % y un 70 % el consumo energético del alumbrado público en comparación con sistemas tradicionales de operación continua, al mismo tiempo que contribuyen a disminuir la contaminación lumínica y mejorar la sostenibilidad urbana [4], [3].

El presente trabajo se inscribe en una línea de investigación aplicada orientada a desarrollar y validar un sistema inteligente de iluminación urbana, adaptado a las condiciones locales y con un enfoque integral que contemple aspectos tecnológicos, energéticos, sociales y ambientales. En particular, se enmarca en el Proyecto de Investigación y Desarrollo, titulado *"Desarrollo de sistema para ahorro de energía en alumbrado público"*, presentado este año en la Universidad Tecnológica Nacional, cuyo objetivo es diseñar un sistema de iluminación urbana inteligente que se integre en el ecosistema de ciudades inteligentes definido por el modelo de planificación estratégica del programa País Digital [18].

## 1. Estado del arte

A nivel internacional, los sistemas de alumbrado inteligente han evolucionado hacia soluciones integradas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



con tecnologías como IoT, Big Data, edge computing y algoritmos de control adaptativo. En países como Alemania, Países Bajos y España, estos sistemas han logrado reducir el consumo energético entre un 50 % y 80 %, mejorar la planificación urbana y fortalecer la seguridad ciudadana [1].

Diversos estudios han explorado arquitecturas con sensores de luminosidad, presencia y condiciones climáticas acoplados a redes LPWAN (como LoRaWAN), permitiendo la gestión remota y el análisis predictivo de fallas [7].

En América Latina, sin embargo, la implementación de este tipo de sistemas al día de hoy es incipiente. Las iniciativas en la región suelen limitarse al recambio por luminarias LED y a experiencias puntuales de telegestión a pequeña escala, sin incorporar todavía sistemas avanzados de control, análisis predictivo ni integración con plataformas IoT [4], [5]. Esta brecha tecnológica representa una oportunidad para el desarrollo de soluciones escalables, de código abierto y adaptadas a las realidades presupuestarias y operativas locales, como las que se buscan desarrollar en el marco de la presente investigación.

## 2. Metodología

Podemos identificar cuatro fases en la metodología de desarrollo:

### 2.1 Análisis de componentes

Se realizó una revisión del estado del arte en sensores de luz (LDR), movimiento (PIR) y condiciones ambientales, así como en actuadores compatibles con entornos urbanos, con el objetivo de identificar componentes que ofrecieran un equilibrio adecuado entre costo, robustez y facilidad de integración. La selección de sensores se orientó a aquellos con mayor disponibilidad en el mercado, buena documentación técnica y resistencia a las condiciones ambientales típicas de espacios exteriores.

Por otro lado, se investigaron tecnologías de comunicación inalámbrica como LoRaWAN, Zigbee y protocolos de mensajería como MQTT, debido a su amplia adopción en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), sus características de bajo consumo energético y su capacidad para cubrir grandes áreas con infraestructura mínima.

En particular, LoRaWAN se evaluó por su idoneidad para redes de baja potencia y largo alcance, características clave en contextos urbanos con infraestructura dispersa y presupuestos limitados [10]. Zigbee se consideró como una alternativa para escenarios con alta densidad de nodos y cobertura en distancias cortas, gracias a su topología en malla y su bajo consumo energético [11]. Por último, MQTT, un protocolo ligero de publicación/suscripción, fue seleccionado por su eficiencia en la transmisión de datos a la plataforma de monitoreo y su amplia compatibilidad con diferentes lenguajes y plataformas [12].

Nos enfocamos principalmente en la documentación oficial de cada componente y protocolo que analizamos aplicar durante el desarrollo de este proyecto.

### 2.2 Selección de hardware

Para el diseño de los prototipos se propone la utilización de placas ESP32, debido a su bajo consumo energético, su conectividad nativa mediante Wi-Fi y su compatibilidad con módulos de comunicación de largo alcance como los SX1278 para redes LoRa [13], [10]. Esta elección busca garantizar una solución flexible, de bajo costo y adaptable a diferentes escenarios urbanos, con soporte tanto para redes locales como para redes de área amplia.

Para la detección de presencia se consideran sensores PIR (Passive Infrared), ampliamente utilizados en aplicaciones de control de iluminación y seguridad por su robustez y bajo consumo energético [14]. Para la medición de la luminosidad ambiental se prevé el uso de sensores LDR (Light Dependent Resistor), una solución sencilla y económica para estimar la intensidad lumínica en entornos exteriores [15].

El control de las luminarias se plantea mediante relés electromecánicos, que ofrecen aislamiento eléctrico y capacidad para manejar cargas de mayor potencia de forma segura [16].

Por último, se prevé la utilización de los protocolos de comunicación UART e I²C para la interconexión entre sensores y microcontroladores, dada su sencillez y amplia adopción en sistemas embebidos para transmitir datos a corta distancia de manera confiable [17].

La selección de hardware se fundamenta principalmente en criterios de disponibilidad, bajo costo, bajo consumo energético y abundante documentación técnica oficial y de la comunidad, lo que facilita su implementación, mantenimiento y eventual escalabilidad.

### 2.3 Desarrollo de software de control

Se diseñó una arquitectura modular basada en microcontroladores (ESP32) y software de código abierto, siguiendo estándares como APIs REST y frameworks livianos para interfaces de monitoreo.

El sistema está dividido en tres capas:

- *Sensorial:* captura de datos ambientales (luminosidad, movimiento, temperatura).
- *Procesamiento local:* microcontrolador con algoritmos de decisión local y comunicación.
- *Capa de supervisión remota:* dashboard en la nube con almacenamiento de datos históricos,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



visualización georreferenciada y alertas automatizadas.

Para la implementación del software se eligió:

- En el **backend**, el framework **Django** [20], un entorno de desarrollo web de código abierto basado en Python.
  Django facilita el desarrollo rápido y seguro de aplicaciones web gracias a su enfoque *batteries-included*, que proporciona un ORM robusto, autenticación, panel administrativo, manejo de sesiones y seguridad contra vulnerabilidades comunes (como inyección SQL o CSRF).
  Se eligió Django no sólo por su madurez, amplia documentación y comunidad activa, sino también porque permite unificar el lenguaje de desarrollo en todo el sistema. Dado que los microcontroladores ESP32 se programarán utilizando **MicroPython**, el uso de Django en el backend permite que tanto el desarrollo embebido como el servidor web compartan Python como lenguaje base, simplificando la formación del equipo, la integración y el mantenimiento del proyecto.

- En el **frontend**, se eligió el framework **Svelte** [21], una herramienta moderna para el desarrollo de interfaces de usuario interactivas y eficientes.
  A diferencia de frameworks tradicionales como React o Vue, Svelte no incluye una capa virtual DOM en tiempo de ejecución, sino que compila los componentes a JavaScript altamente optimizado durante la construcción del proyecto, resultando en aplicaciones más rápidas y con menor consumo de recursos.
  Se optó por Svelte por su simplicidad sintáctica, bajo tamaño de bundle, excelente rendimiento y curva de aprendizaje accesible para el equipo de desarrollo.

Esta combinación de tecnologías agiliza el desarrollo y lo vuelve más prolijo, con un backend sólido y fácil de mantener, un frontend moderno y liviano, y una lógica embebida clara y coherente, todo en línea con los principios de código abierto y la modularidad que buscamos para este proyecto.

### 2.4 Validación experimental

Se están desarrollando pruebas en laboratorio y simulaciones de escenarios urbanos utilizando maquetas digitales y prototipos funcionales para evaluar el comportamiento del sistema ante distintas condiciones ambientales y patrones de tránsito.

En particular, se implementó una maqueta digital en el entorno de simulación Wokwi, configurando un ESP32 con sensores de movimiento (PIR), luminosidad (LDR) y un LED para simular la luminaria (Figura 1). El sistema se programó utilizando MicroPython, siguiendo la lógica de control descrita en la Figura 2.

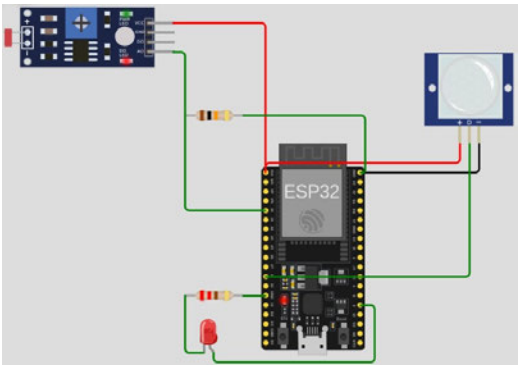



Figura 1. Esquema de interconexión de la maqueta digital en la plataforma Wokwi.

```python
from machine import Pin, ADC
import time

PIR_PIN = 14
LDR_PIN = 34
LED_PIN = 2

pir = Pin(PIR_PIN, Pin.IN)
led = Pin(LED_PIN, Pin.OUT)
ldr = ADC(Pin(LDR_PIN))
ldr.atten(ADC.ATTN_11DB)

while True:
    pir_val = pir.value()
    ldr_val = ldr.read()

    print(f"PIR: {pir_val} | LDR: {ldr_val}")

    if pir_val and ldr_val < 1000:
        led.value(1)
        print("Movimiento detectado y baja luz (simulando MQTT/LoRa)")
    else:
        led.value(0)

    time.sleep(0.5)
```

Figura 2. Código en MicroPython simplificado, implementado en el ESP32 para la maqueta digital.

Las pruebas se realizaron con condiciones simuladas de tránsito y horarios día/noche. Algunas de las variables que tuvimos en cuenta son: consumo energético por ciclo, tasa de detección de eventos, latencia de activación, estabilidad de conexión y comportamiento ante fallas simuladas.

## 3. Resultado Preliminares

Hasta el momento, las pruebas realizadas en laboratorio y en la maqueta digital permiten anticipar los resultados esperados y validar parcialmente algunas funcionalidades clave del sistema.

Los resultados parciales obtenidos indican que:

- La maqueta digital en Wokwi demostró la viabilidad de la lógica de control, con detección confiable de movimiento y condiciones de baja luminosidad para activar la luminaria.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- La implementación en MicroPython en el ESP32 permitió unificar el desarrollo del firmware y probar la integración de sensores (PIR y LDR) con tiempos de respuesta adecuados para un entorno controlado.
- La plataforma web para monitoreo remoto se esta implementando en su versión inicial, permitiendo visualizar en tiempo real las variables medidas y el estado del sistema en la maqueta.
- Las simulaciones sugieren que la combinación de sensores y control adaptativo podría permitir una reducción significativa del consumo energético, a validar en pruebas en campo.
- Se realizaron pruebas básicas de transmisión LoRaWAN en maqueta, confirmando la conexión entre nodos en un entorno simulado, aunque la distancia máxima aún no fue evaluada en condiciones reales.

Los próximos pasos incluyen trasladar el prototipo a un entorno real y cuantificar métricas como consumo energético por ciclo, tasa de detección de eventos, latencia de activación, estabilidad de la conexión y diagnóstico de fallas.

| **Resultados esperados** | **Resultados parciales** |
|---|---|
| Reducción del consumo energético en 50–70% respecto a sistemas tradicionales, gracias a sensores y control adaptativo. | Simulación en maqueta muestra funcionamiento correcto de la lógica para encender solo con movimiento y baja luz; se anticipa ahorro, pero aún no cuantificado. |
| Integración estable de sensores con red LoRaWAN, alcanzando hasta 2 km en entorno urbano. | Se verificó la comunicación LoRaWAN en maqueta; conexión estable entre nodos a corta distancia en entorno simulado. |
| Plataforma web funcional para monitoreo remoto, con visualización en tiempo real del estado de luminarias y consumo. | Implementación inicial del dashboard completa, permite ver el estado del sistema y sensores en la maqueta en tiempo real. |
| Detección temprana de fallas mediante algoritmos automatizados. | Algoritmo básico de detección implementado; validación en entorno real pendiente. |
| Respuesta adecuada del sistema a distintos escenarios de tránsito y horarios día/noche. | Pruebas en maqueta con variaciones manuales de luz y simulación de movimiento confirman la lógica básica del control adaptativo. |

Tabla 1. Resultados esperados vs. parciales

## 4. Discusión

El sistema propuesto de control inteligente de iluminación urbana no solo valida su viabilidad técnica en entornos de simulación y laboratorio, sino que presenta un encaje estratégico en modelos urbanos contemporáneos. Su desarrollo, basado en tecnologías abiertas y adaptables, responde a las necesidades específicas de municipios argentinos que enfrentan restricciones presupuestarias, falta de estandarización tecnológica y escasez de personal técnico capacitado.

### 4.1 Alineación con las dimensiones del modelo de ciudad inteligente

La Secretaría de Modernización de la Nación Argentina propone un modelo de planificación estratégica para ciudades inteligentes estructurado en cinco dimensiones clave (Gobernanza, Ambiente, Desarrollo Humano, Planeamiento Urbano y Competitividad). A continuación, se analizan las contribuciones del sistema en cada una de estas dimensiones:

**Gobernanza:**

El sistema promueve el uso de plataformas digitales abiertas, manejo de datos en tiempo real y capacitación técnica, lo que fortalece la toma de decisiones basadas en evidencia y reduce la dependencia tecnológica de proveedores externos.

**Ambiente:**

Contribuye de forma directa a la eficiencia energética, disminuyendo el consumo eléctrico y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, al permitir el ajuste dinámico de intensidad lumínica, reduce la contaminación lumínica, alineándose con principios de ecología urbana sostenible.

**Desarrollo Humano:**

Mejora la percepción de seguridad en el espacio público a través de la iluminación dinámica, y fomenta la inclusión tecnológica al utilizar herramientas que pueden ser adaptadas localmente, incluso por actores educativos o técnicos de formación media.

**Planeamiento Urbano:**

Aporta una capa de infraestructura digital que puede integrarse con otras soluciones urbanas (semáforos inteligentes, sensores ambientales, sistemas de movilidad), optimizando la planificación del espacio público desde una perspectiva integral.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Competitividad:**

Impulsa el desarrollo local de soluciones tecnológicas, promoviendo el emprendedurismo y la innovación aplicada, tanto en universidades como en pequeñas empresas y gobiernos locales.

### 4.2 Comparación con iniciativas internacionales

En países como Alemania, Países Bajos y España, los sistemas de alumbrado inteligente han sido parte de proyectos piloto que combinan gestión remota, análisis de datos y sensores distribuidos. Sin embargo, muchos de estos desarrollos dependen de grandes proveedores tecnológicos y están diseñados para ciudades con alto nivel de madurez digital.

En contraposición, el enfoque adoptado en este trabajo privilegia la autonomía tecnológica, la escalabilidad progresiva y la posibilidad de implementación en contextos de mediana infraestructura. Esta diferencia lo convierte en un aporte valioso para la adaptación latinoamericana del concepto de smart lighting.

### 4.3 Desafíos y barreras identificadas

Pese a sus beneficios, la adopción masiva de este tipo de soluciones enfrenta barreras concretas:

- Costos iniciales de infraestructura tecnológica, aunque en descenso, aún representan un obstáculo para municipios pequeños o con bajo presupuesto.
- Interoperabilidad entre sistemas existentes, lo que requiere estándares de comunicación claros y compatibles con redes ya desplegadas.
- Capacitación técnica, tanto en personal de instalación como en operadores de los centros de monitoreo.
- Aceptación institucional y política, que muchas veces depende de factores no técnicos como prioridades de gestión, visibilidad política del proyecto o acceso a financiamiento externo.

Estos desafíos, sin embargo, pueden ser abordados progresivamente mediante estrategias de implementación por fases, convenios universidad-municipio y el desarrollo de soluciones de bajo costo pero alto impacto, como se propone en este trabajo.

## 5. Impacto socioambiental esperado

La implementación de un sistema inteligente de control de iluminación urbana no solo responde a objetivos de eficiencia operativa, sino que también se alinea con metas de desarrollo sostenible, reducción de la huella de carbono, mejora de la seguridad urbana y fortalecimiento de capacidades tecnológicas locales.

### 5.1 Eficiencia energética y reducción de emisiones

El uso de luminarias LED combinado con sensores de presencia y sistemas de regulación adaptativa permite alcanzar reducciones de consumo energético de entre 50% y 70% en comparación con sistemas tradicionales [19]. Esta disminución directa del consumo eléctrico tiene un efecto inmediato en la reducción de emisiones de $CO_2$, especialmente en contextos donde la matriz energética incluye generación térmica.

A escala municipal, esto puede representar una reducción significativa en los presupuestos destinados al alumbrado público, liberando recursos para otras áreas críticas.

### 5.2 Contribución a ciudades resilientes y sostenibles

La iluminación adaptativa es un componente esencial de la resiliencia urbana. En situaciones de emergencia, los sistemas inteligentes pueden garantizar iluminación estratégica, facilitando evacuaciones o el acceso de servicios de emergencia. Además, la reducción de la contaminación lumínica contribuye a la protección del ecosistema urbano nocturno y mejora la salud humana, en línea con estudios sobre ritmos circadianos y exposición a luz artificial [9].

### 5.3 Seguridad ciudadana y percepción del espacio público

La relación entre iluminación adecuada y percepción de seguridad ha sido documentada en múltiples estudios [8]. Sistemas dinámicos que intensifican la luz ante la detección de movimiento contribuyen a la prevención del delito, fortalecen la apropiación ciudadana del espacio público y promueven el uso nocturno del entorno urbano.

### 5.4 Desarrollo local y capacidades tecnológicas

El uso de plataformas abiertas y tecnologías adaptables permite impulsar desarrollos nacionales, evitando la dependencia de proveedores internacionales y fomentando ecosistemas tecnológicos locales. Esto incluye startups, PyMEs tecnológicas, técnicos especializados y equipos académicos vinculados a universidades tecnológicas.

Además, estos sistemas pueden integrarse con fuentes de energía renovables, como paneles solares, impulsando el desarrollo de microrredes energéticas urbanas descentralizadas.

### 5.5 Educación, divulgación y conciencia energética

La implementación de estos sistemas puede tener también una función educativa, sirviendo como plataforma de formación para estudiantes de carreras técnicas y como ejemplo replicable en proyectos escolares, ferias tecnológicas y laboratorios urbanos. En este sentido, el trabajo se enmarca en las actividades del **Centro de Investigación de Codiseño Aplicado (CODAPLI)**, cuyo enfoque está orientado al desarrollo de soluciones para la eficiencia energética y las ciudades inteligentes. Esto contribuye a crear conciencia ciudadana sobre el uso responsable de la energía y el rol de la tecnología en el desarrollo sostenible.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## 6. Formación de Recursos Humanos

El **CODAPLI** actúa como un espacio de encuentro entre la investigación académica, la formación profesional y la transferencia tecnológica. En sus laboratorios se abordan distintas dimensiones de la energía y las tecnologías urbanas: desde energías renovables y microrredes, hasta sistemas embebidos, electrónica aplicada, análisis de datos y plataformas de monitoreo. Estos espacios no solo permiten realizar pruebas y validaciones en condiciones controladas, sino que también brindan a estudiantes y profesionales la oportunidad de adquirir experiencia práctica, participar en proyectos reales y generar conocimiento aplicable a las necesidades locales.

En particular, este trabajo se enmarca en el nuevo Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID) titulado *"Desarrollo de sistema para ahorro de energía en alumbrado público"*, orientado al diseño, implementación y validación de soluciones innovadoras para la gestión eficiente del alumbrado urbano.

El proyecto contribuye a la formación de recursos humanos con conocimientos en programación de sistemas embebidos y aplicaciones web, así como en tecnologías orientadas al ahorro energético y la mejora de los servicios urbanos. La participación activa en el proyecto permite a los integrantes adquirir competencias técnicas y experiencia aplicada en el campo de las ciudades inteligentes y la eficiencia energética.

## 7. Conclusiones

El desarrollo de un sistema de control inteligente de iluminación urbana basado en sensores e IoT es técnicamente viable y presenta un impacto significativo en eficiencia energética y sostenibilidad. El prototipo validado en laboratorio demuestra que es posible implementar soluciones escalables, personalizables y alineadas con los objetivos de ciudades inteligentes.

## 8. Líneas Futuras

En etapas posteriores del proyecto se prevé explorar diversas líneas de trabajo que permitan consolidar, ampliar y evaluar el sistema en contextos más cercanos a las condiciones reales de operación.

Una de las principales proyecciones es la implementación piloto en entornos urbanos reales, en colaboración con municipios u otras instituciones públicas. Esto permitirá validar la solución en situaciones más complejas, considerando factores como variabilidad climática, patrones de tránsito impredecibles y requerimientos operativos propios de las ciudades.

Otra línea de interés consiste en la optimización de los algoritmos de regulación lumínica mediante técnicas de machine learning. Estas técnicas podrían permitir que el sistema aprenda patrones de comportamiento de los usuarios y del entorno, ajustando dinámicamente los niveles de iluminación para maximizar la eficiencia energética y la comodidad percibida.

Asimismo, se contempla la posibilidad de integrar el sistema con fuentes de energía renovable, como paneles solares, con el objetivo de reducir aún más la huella ambiental del alumbrado público y avanzar hacia soluciones energéticamente autónomas.

Por último, se considera relevante incluir una evaluación del impacto social del sistema, analizando aspectos como la percepción de seguridad de los usuarios, la apropiación y el uso del espacio público en horarios nocturnos, y el grado de aceptación de la tecnología por parte de la comunidad.

En general, estas líneas futuras buscan consolidar un enfoque integral que contemple no solo la eficiencia técnica y energética del sistema, sino también su viabilidad social y ambiental en el marco de las ciudades inteligentes.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Centro de Investigación CODAPLI por el soporte institucional brindado para la realización de este trabajo.

Finalmente, se reconoce a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata (UTN-FRLP) por proporcionar el entorno académico y los recursos necesarios para llevar adelante la investigación.

## Referencias

[1] European Commission, Smart cities and communities initiatives, Brussels, Belgium, 2022. [Online]. Disponible: https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/

[2] CEPAL, Eficiencia energética en servicios municipales de América Latina, Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2022.

[3] Ministerio de Energía de Chile, Diagnóstico de la iluminación pública en Chile, Gobierno de Chile, Santiago, 2021.

[4] Secretaría de Energía de la Nación, Diagnóstico de la iluminación pública en Argentina, Ministerio de Economía, Buenos Aires, 2022.

[5] BID, Ciudades inteligentes y sostenibles en América Latina: retos y oportunidades, Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, 2021.

[6] Olavarría, J., Pérez, L., and Gómez, M., "Implementación piloto de alumbrado público

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



inteligente en ciudades intermedias argentinas," *Revista de Ingeniería Urbana*, vol. 8, no. 1, pp. 55–68, 2023.

[7] Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M., "Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios," IEEE Wireless Communications, vol. 23, no. 5, pp. 60–67, 2016. [Online] https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743

[8] Steinbach, R., Perkins, C., Tompson, L., Edwards, P., & Green, J., "The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis," Journal of Epidemiology & Community Health, vol. 69, no. 11, pp. 1118–1124, 2015. [Online] https://jech.bmj.com/content/69/11/1118

[9] Chepesiuk, R., "Missing the dark: health effects of light pollution," Environmental Health Perspectives, vol. 117, no. 1, pp. A20–A27, Jan. 2009.

[10] LoRa Alliance, LoRaWAN® Specification, [Online]. Available: https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawanr-specification

[11] Zigbee Alliance, Zigbee Overview, [Online]. Available: https://zigbeealliance.org/solution/zigbee/

[12] MQTT.org, MQTT Version 3.1.1 Specification, [Online]. Available: http://mqtt.org/documentation

[13] Espressif Systems, ESP32 Overview, [Online]. Available: https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32

[14] Murata, Pyroelectric Infrared Sensors (PIR), [Online]. Available: https://www.murata.com/

[15] Vishay, Light Dependent Resistors (LDRs), [Online]. Available: https://www.vishay.com/

[16] Omron, General Purpose Relays, [Online]. Available: https://components.omron.com

[17] Texas Instruments, I²C Bus Overview, [Online]. Available: https://www.ti.com/

[18] Secretaría de Modernización, Programa País Digital: modelo de planificación estratégica para ciudades inteligentes, [Online]. Available: https://www.argentina.gob.ar

[19] International Energy Agency, *Energy Efficiency 2023*, Paris: IEA, 2023.

[20] Django, The web framework [Online] https://docs.djangoproject.com/en/5.2/

[21] Svelte, Single Page Application Framework [Online] https://svelte.dev/docs/svelte/overview

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Protección de Datos Sensibles en 2025: Estado del Arte actual y un enfoque hacia la detección de Información de Identificación Personal (PII) en Argentina

**Barrionuevo Ileana, Gibellini Fabian, Parisi German, Ruhl Analia, Notreni Juliana, Ciceri Leonardo, Auquer Marcelo, Bertola Federico, Zea Cardenas Milagros, Sanchez Balzaretti Ignacio, Alex Maximiliano Bianchini**

***GISSIC - Grupo de Investigación en Seguridad de Sistemas de Información y Ciberseguridad. / Laboratorio de Sistemas / Dpto. de Ingeniería en Sistemas / Universidad Tecnológica Nacional / Facultad Regional Córdoba***
***Cruz Roja S/N, 5016***

**Abstract**
*El crecimiento exponencial de los datos en las organizaciones ha incrementado el riesgo de exposición de Información de Identificación Personal (PII), generando impactos legales, económicos y reputacionales. Este trabajo surge ante la necesidad de contar con herramientas locales que permitan detectar PII de forma automática, considerando la Ley 25.326 de protección de datos personales en Argentina. Para abordar este desafío, se integran técnicas de procesamiento de lenguaje natural con modelos ya entrenados y disponibles en español. Utilizando modelos de Inteligencia Artificial (IA) orientado a la identificación de datos sensibles en documentos organizacionales. Se desarrollaron reconocedores personalizados que se integran a la herramienta de código abierto Microsoft Presidio, para su uso en pruebas y futuras integraciones. Esta propuesta permitirá reducir los tiempos de identificación de datos críticos, optimizar la trazabilidad y sentar las bases para la incorporación de mecanismos automáticos de respuesta ante incidentes de fuga de información. Los resultados preliminares demuestran la factibilidad técnica del enfoque, abriendo el camino hacia su escalabilidad en contextos productivos.*

**Palabras Clave**
PII, seguridad, IA, NLP, protección de datos, ciberseguridad, Argentina.

## Introducción

Según el reporte 2023/2024 del Foro Internacional de Economía, a corto plazo (2 años), la inseguridad digital se coloca como el cuarto riesgo con impacto negativo en la economía (Figura 1) y, a largo plazo (10 años, 2034), esta preocupación ocuparía el puesto 8 en su ranking de riesgos (Figura 2) [1].

De acuerdo al mismo informe, la mayoría de los riesgos tecnológicos destacados a corto plazo, Desinformación e Inseguridad digital, bajan de ranking, pero permanecen en el top 10 a largo plazo, en el quinto y octavo lugar, respectivamente. El Foro Internacional de Economía define Inseguridad Digital como el uso de armas y herramientas cibernéticas para llevar a cabo guerra cibernética, espionaje y delitos cibernéticos para obtener control sobre una presencia digital y/o causar interrupción operativa.

Como ejemplos de fuga de datos se puede mencionar los 700 millones de datos filtrados de LinkedIn, los cuales incluían datos de ubicación de usuarios (ciudad, provincia, país), nombre de usuarios y correo electrónico [2].

Continuando con casos de fuga de datos conocidos, se encuentran las fugas de datos de Microsoft [3].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 1. Cambio anual en las percepciones globales del riesgo a corto plazo (2 años).

El 13 de enero de 2024, Microsoft descubrió una infracción llevada a cabo por un grupo de la agencia de inteligencia extranjera rusa SVR (Servicio de Inteligencia Exterior Ruso). El incidente ocurrió en noviembre de 2023 mediante un método llamado “password spraying” [4] y tuvo como objetivo el sistema de correo electrónico corporativo de Microsoft. Cozy Bear, el grupo de hackers respaldado por Rusia detrás de la infracción de SolarWinds [5], parece haber estado detrás de este ataque. Microsoft reveló que estos piratas informáticos comprometieron las credenciales de una cuenta de prueba "heredada", probablemente con un código desactualizado, antes de acceder a cuentas de altos directivos, entre otras. El acceso de los piratas informáticos fue eliminado al día siguiente.

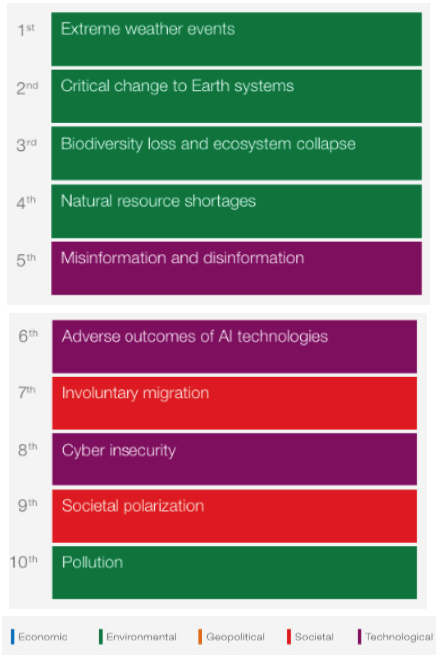



Figura 2. Riesgos globales clasificados por gravedad a largo plazo (10 años).

En septiembre de 2023, un miembro del personal del Senado de EE. UU. informado por funcionarios de TI del Departamento de Estado informó a Reuters que los piratas informáticos chinos habían robado más de 60.000 correos electrónicos de funcionarios del Departamento de Estado. La infracción se produjo en julio, cuando una serie de errores permitieron que el grupo de piratas informáticos chinos, identificado como Storm-0558, pirateara Microsoft y robara una clave que les otorgaba amplio acceso a las cuentas de los clientes de Microsoft, incluidas las del gobierno de Estados Unidos.

Un caso de fuga de datos tuvo como protagonista a Facebook, empresa que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



decidió no notificar a más de 530 millones de sus usuarios a quienes sus datos personales fueron "robados" en una violación ocurrida en algún momento antes de agosto de 2019 y que luego estuvieron disponibles en una base de datos pública. La fuga incluye información personal de 533 millones de usuarios de dicha red social en 106 países [9]. Para saber qué información fue filtrada, Troy Hunt creó y actualizó el sitio HaveIBeenPwnd [6].

El proceso de digitalización en el que se encuentran inmersas las organizaciones ha traído consigo beneficios significativos en eficiencia, productividad y accesibilidad a la información. Sin embargo, este avance también ha generado nuevos riesgos en materia de seguridad de la información, siendo uno de los más críticos la exposición de Información de Identificación Personal (PII).

Toda organización que maneja información de identificación personal (PII) tiene el deber de cuidar a sus usuarios y clientes para asegurarse de que la PII no quede expuesta al mundo exterior y, al mismo tiempo, cumplir con los requisitos normativos, de seguridad y de cumplimiento para mantenerla interna e intacta. El desafío que se presenta es que la PII aparece en lugares inesperados en los archivos de registro de una organización e identificarla puede ser complicado. La PII directa, como direcciones de correo electrónico o números de tarjetas de crédito, puede ser bastante sencilla de identificar observando la forma en que está formateada. Pero la PII también puede ser indirecta y menos fácil de identificar a partir de datos sin procesar, como información médica, historial laboral o información descriptiva sobre un individuo [7].

La PII se define como cualquier dato que pueda ser utilizado para identificar directa o indirectamente a una persona física. Esto incluye no solo datos obvios como el nombre, la dirección o el número de documento, sino también datos contextuales o combinados, como direcciones IP, registros médicos o datos biométricos [8]. La exposición de estos datos puede tener consecuencias legales, financieras y sociales de gran alcance, como el robo de identidad, el fraude financiero o la pérdida de confianza en instituciones [9].

Teniendo en cuenta la tendencia predominante de la inseguridad digital en la economía a corto plazo (2 años) y a largo plazo (10 años), y considerando que existen distintas regulaciones que intentan proteger la privacidad de datos por todo el mundo, como por ejemplo, el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) [10] para los países dentro de la Unión Europea; o la Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) de Estados Unidos [11]. También existen otras leyes con acrónimos como FCRA [12], FERPA [13], GLBA [14], ECPA [15], COPPA [16] y VPPA [17] en los Estados Unidos. Como se mencionó recientemente, en el ámbito internacional, el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) de la Unión Europea y la Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) de Estados Unidos [11] constituyen marcos regulatorios de referencia. Estos han incentivado el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a la detección, anonimización y gestión de datos sensibles, principalmente en idioma inglés. Pero es importante que las organizaciones se apeguen a estas regulaciones según la región donde operan.

Por ejemplo, en Argentina las organizaciones deben tener presente la Ley 25.326 sobre principios generales relativos a la protección de datos, derechos de los titulares de los datos, usuarios y responsables de archivos, registros y bancos de datos, control y sanciones [18] [19]. Otro ejemplo es la ley que regula la protección de datos en Chile, la Ley 19628 [20]. Por ello se debe hacer énfasis en la región donde la organización opera para tener en cuenta las regulaciones en cuanto a

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



privacidad de datos de civiles que tiene que cumplir.

La Ley 25.326 de Protección de Datos Personales [19], sancionada en el año 2000, junto con resoluciones de la Agencia de Acceso a la Información Pública. Aunque establece principios rectores claros, su aplicación enfrenta limitaciones debido a la falta de herramientas automatizadas adaptadas al idioma español y a los formatos locales de identificación, como DNI, CUIL o CUIT.

Además, la región ha experimentado incidentes de fuga de datos de gran escala en los últimos años, que han afectado tanto a organismos públicos como a empresas privadas, evidenciando la urgencia de fortalecer las capacidades técnicas para proteger la PII; dentro de estas fuga de datos se puede mencionar la de RENAPER en el 2023 y 2024 [21] [22]

En este contexto, desarrollar soluciones que integren Inteligencia Artificial (IA) aplicadas a la ciberseguridad se vuelve una necesidad estratégica para resguardar la privacidad de los ciudadanos y el cumplimiento normativo de las organizaciones [23][24].

Esta aseveración es parte del objetivo propuesto en el proyecto “Desarrollo de un modelo de IA para detección de Personal Identificable Information (PII)”; con código COSIEC611, en el cual esté inserto el presente trabajo. Parte de las pruebas de concepto de este proyecto incluye probar/catalogar herramientas actuales de detección de patrones de datos que sean de código abierto. Siendo la primera Presidio [25], y del cual se exhiben a continuación los avances sobre el mismo utilizando el idioma español.

Este trabajo propone un enfoque híbrido basado en Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) en español, contenedorización con Docker y reconocedores personalizados en Microsoft Presidio, adaptado al contexto argentino. El Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) es una rama de la Inteligencia Artificial y la Lingüística, dedicada a hacer que las computadoras comprendan las declaraciones o palabras escritas en lenguajes humanos [26].

Se busca responder a una brecha tecnológica clara: la falta de soluciones que integren requerimientos normativos locales, características lingüísticas del español rioplatense y escalabilidad técnica para entornos organizacionales.

**Trabajos Relacionados**

El área de detección automática de PII ha recibido creciente atención en la literatura académica.

Modelos basados en reglas y NLP: Silva et al. [27] demostraron cómo técnicas híbridas pueden detectar violaciones de privacidad combinando aprendizaje automático y reglas lingüísticas. Rudusans & Vitols [28] evaluaron métodos de clasificación para datos sensibles en entornos rurales.

Enfoques supervisados: Cerbo et al. [29] aplicaron modelos de aprendizaje supervisado bajo el marco de GDPR, mientras que Narvala et al. [30] introdujeron representaciones enriquecidas en grafos de conocimiento.

Las normativas internacionales, mencionadas previamente como GDPR [10] y HIPAA [11] se consolidan como los marcos de referencia que guían el diseño de estas soluciones, junto con ISO/IEC 27001 [9] que establece requisitos de gestión de seguridad.

Aplicaciones prácticas: Splunk [31] ofrece herramientas de monitoreo de logs con detección de PII, mientras que proyectos como los de ENISA [32] y NIST [8] plantean lineamientos para el diseño de sistemas robustos.

En contraste, en el contexto argentino y latinoamericano la investigación es aún incipiente. La mayoría de las soluciones existentes no consideran particularidades lingüísticas del español ni formatos de identificación locales, lo que refuerza el aporte de este trabajo como pionero en el área.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Desarrollo. Diseño e Implementación de Microsoft Presidio**

Previamente se llevó a cabo una investigación exploratoria del estado del arte actual, sobre distintas herramientas de código abierto que logren identificar datos que puedan calificarse, directa e indirectamente como PII, cuyo resultado se muestra en la muestra la Tabla 1.

| Herramienta | Precisión | Velocidad | Dificultad | Uso típico |
|---|---|---|---|---|
| Tesseract [33] | M | M | M | Escaneos, documentos simples |
| EasyOCR [34] | A | M | B | Texto en fotos, múltiples idiomas |
| YOLOv8 [35] | A | A | B | Cámaras en tiempo real, apps móviles |
| OpenCV [36] | M | A | A | Preprocesamiento, filtros, visión clásica |
| Detectron 2 [37] | AA | B/M | A | Investigación, datasets complejos |

Tabla 1. Comparativa de herramientas específicas para determinados propósitos. Donde A (Alta); M (Media); B (Baja); AA (Muy Alta)

*Arquitectura General*

La solución desarrollada se basa en la integración de *Microsoft Presidio*, una plataforma open-source de detección y anonimización de PII, con un entorno contenerizado de servicios mediante Docker [38]. La arquitectura de esta prueba de concepto consta de tres componentes principales:

- Motor NLP: encargado del preprocesamiento y análisis lingüístico de textos, utilizando utilizando modelos de Procesamiento de Lenguaje Natural (NPL). El modelo seleccionado para la prueba de concepto es es_core_news_md [39] ya que es uno de los modelos ya entrenados y disponibilizados por spaCy [40] para aplicarlo sobre el idioma español.
- Servicio de detección (Presidio Analyzer y Anonymizer): realiza la identificación de entidades sensibles.
- API REST: interfaz que expone los servicios a aplicaciones externas mediante endpoints simples y escalables [41].

Para entender mejor el flujo, es necesario mirar la arquitectura de los componentes de Microsoft Presidio [42], el Analyzer y Anonymizer. En la Figura 3 observamos el Analyzer, encargado de identificar datos considerados parte de PII en un texto. Es importante destacar que las contribuciones técnicas presentadas en el presente son anexadas a este componente antes de su ejecución para su correcto procesamiento de los patrones buscando, teniendo en cuenta su aplicabilidad sea dentro del territorio Argentino.

Por otro lado, en la Figura 4 se describe el componente Anonymizer, el cual toma los datos identificados del componente Analyzer y les aplica reglas de anonimización para que el texto no sea legible totalmente, protegiendo el valor real de los posibles datos PII identificados previamente. Este componente también

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



permite anexar reglas de anonimización personalizadas.

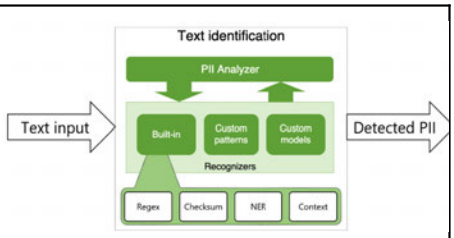



Figura 3. Componente Analyzer de Microsoft Presidio.

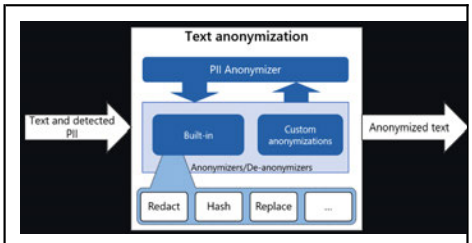



Figura 4. Componente Anonymizer de Microsoft Presidio.

**Avances**

*Reconocedores Personalizados*

La principal contribución técnica de este trabajo es la creación de reconocedores específicos para el contexto argentino, en particular para DNI y CUIL/CUIT.

Mientras que *Microsoft Presidio* cuenta con detectores genéricos (emails, números de teléfono internacionales, tarjetas de crédito), fue necesario ampliar la base de patrones para incluir patrones adaptados de:

- *DNI*
- *CUIL/CUIT*

Estos reconocedores fueron desarrollados en Python y probados con documentos de prueba que simulan contratos laborales, registros administrativos y formularios digitales.

*API REST y Validaciones*

La API REST implementada con FastAPI expone el endpoint */analyze*, que recibe texto y devuelve un JSON con las entidades detectadas. Este diseño permite integrarlo fácilmente con:

- Sistemas de gestión documental.
- Herramientas de auditoría de seguridad.
- Pipelines de procesamiento de datos en organizaciones.

Se realizaron validaciones con Postman y se documentaron pruebas de concepto en las que la API fue capaz de identificar múltiples instancias de DNI y CUIL en un mismo documento, preservando la estructura de salida.

*Contenerización y Despliegue*

El sistema fue encapsulado en contenedores *Docker*, lo que permite:

Asegurar la portabilidad del entorno entre distintos sistemas operativos.

Facilitar la reproducibilidad de los resultados sin conflictos de dependencias.

Escalar horizontalmente mediante la creación de múltiples instancias del servicio.

Se utilizaron archivos de configuración (*Dockerfile* y *docker-compose.yml*) que permiten levantar todo el entorno en un solo comando, facilitando su uso en entornos de desarrollo y pruebas.

**Resultados Iniciales**

Durante la fase de pruebas se utilizaron datasets simulados que incluían variaciones de formato de DNI y CUIL. Los resultados mostraron cierta precisión en los textos de muestra en la detección de datos locales. Pero antes de la incorporación de datasets reales en fases posteriores, es necesario seguir probando y analizar la posibilidad de agregar más reconocedores personalizados.

El sistema también logró detectar entidades preconfiguradas de Presidio, como direcciones de correo electrónico y números de teléfono, lo que confirma su capacidad de actuar como una solución integral para múltiples tipos de PII.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El desarrollo de este modelo demuestra la viabilidad de aplicar IA y NLP en español para la detección de PII en Argentina. La combinación de reconocedores

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



personalizados, contenedorización y despliegue mediante API REST ofrece una solución adaptable, escalable y de fácil integración con entornos organizacionales.

Esta propuesta permitirá reducir los tiempos de identificación de datos críticos, optimizar la trazabilidad de datos sensibles y sentar las bases para la incorporación de mecanismos automáticos de respuesta ante incidentes de fuga de información

Dentro de las limitaciones actuales se encuentran

- Uso de datasets de prueba y ausencia de validación con corpus reales y una muestra más grande.
- Falta de incorporación de documentos no textuales (PDF escaneados, imágenes).
- Modelos entrenados con spaCy genérico, sin embeddings específicos para dominios argentinos.

Las futuras líneas de investigación son:

- Entrenamiento de modelos supervisados con datasets locales y benchmarking frente a métricas estándar (precisión, recall, F1).
- Incorporación de OCR y visión por computadora para detectar PII en imágenes y formularios digitalizados.
- Desarrollo de un sistema híbrido texto-imagen que ofrezca protección integral de datos sensibles.
- Extensión hacia mecanismos de alerta y respuesta en tiempo real frente a fugas de información.
- Validación en entornos corporativos y gubernamentales mediante pruebas piloto a gran escala.

**Agradecimientos**

Se agradece al GISSIC – Grupo de Investigación en Seguridad de Sistemas de Información y Ciberseguridad y a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba por el apoyo institucional y los recursos técnicos brindados.

**Referencias**

[1] World Economic Forum. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf, última visita 28/08/2025.

[2] Hackers leak LinkedIn 700 million data scrape. Catalin Cimpanu. Septiembre 2021. https://therecord.media/hackers-leak-linkedin-700-million-data-scrape, última visita 28/08/2025.

[3] Microsoft Data Breaches: Full Timeline Through 2024. M. X. Heiligenstein. Febrero 2024. https://firewalltimes.com/microsoft-data-breach-timeline/, última visita 28/04/2024.

[4] Password Spraying Attack. I. Ranjan. OWASP. https://owasp.org/www-community/attacks/Password_Spraying_Attack, última visita 28/08/2025.

[5] Cronología del ciberataque a SolarWinds. https://cso.computerworld.es/cibercrimen/cronologia-del-ciberataque-a-solarwinds, última visita 28/08/2025.

[6] HaveIBeenPwnd. Página oficial. https://haveibeenpwned.com/, última visita 28/04/2024.

[7] Defining and detecting Personally Identifiable Information (PII) in log data. Splunk Platform.

[8] NIST SP 800-122. Guide to Protecting the Confidentiality of Personally Identifiable Information (PII). NIST, 2010.

[9] ISO/IEC 27001. Information Security Management Systems – Requirements. ISO, 2013.

[10] GDPR. General Data Protection Regulation. Regulation (EU) 2016/679.

[11] HIPAA. Health Insurance Portability and Accountability Act. HHS, 1996.

[12] Fair Credit Reporting Act. https://www.ftc.gov/legal-library/browse/statutes/fair-credit-reporting-act, última visita 27/08/2025.

[13] Family Educational Rights and Privacy Act. https://www2.ed.gov/policy/gen/guid/fpco/ferpa/index.html, última visita 27/08/2025.

[14] Gramm-Leach-Bliley Act. https://www.ftc.gov/business-guidance/privacy-security/gramm-leach-bliley-act, última visita 27/08/2025.

[15] Electronic Communications Privacy Act of 1986. https://bja.ojp.gov/program/it/privacy-civil-liberties/authorities/statutes/1285, última visita 27/08/2025.

[16] Children's Online Privacy Protection Rule ("COPPA"). https://www.ftc.gov/legal-library/browse/rules/childrens-online-privacy-protection-rule-coppa, última visita 27/08/2025.

[17] Video Privacy Protection Act. https://en.wikipedia.org/wiki/Video_Privacy_Protection_Act, última visita 27/08/2025.

[18] Protección de los datos personales. https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/70000-74999/70368/texact.htm, última visita 27/08/2025.

[19] Ley 25.326. Protección de los Datos Personales. República Argentina.

[20] Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Ley 19628, Sobre protección de la vida privada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=141599, última visita 27/08/2025.
[21] RENAPER solo expone la deficiencias del Estado Argentino en Ciberseguridad. https://blog.segu-info.com.ar/2024/04/renaper-solo-expone-la-deficiencias-del.html?m=0, última visita 28/08/2025.
[22] Fuga de datos en el RENAPER. https://revistainnovacion.com/nota/12307/fuga_de_datos_en_el_renaper, última visita 28/08/2025] [Descargar todas las fotos del Padrón Electoral Argentino. https://blog.segu-info.com.ar/2013/10/descargar-todas-las-fotos-del-padron.html#axzz2kLhdUSq1, última visita 28/08/2025.
[23] World Economic Forum. The Global Risks Report 2024.
[24] CISCO. Data Privacy Benchmark Study 2023.
[25] Microsoft Presidio. Open-Source PII Protection Tool. https://github.com/microsoft/presidio, última visita 28/08/2025.
[26] Khurana, D., Koli, A., Khatter, K., & Singh, S. (2017). Natural Language Processing: State of the Art, Current Trends and Challenges (arXiv:1708.05148) [Preprint]. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.05148, última visita 28/08/2025.
[27] Silva, P. et al. (2020). Using NLP and ML to Detect Data Privacy Violations. IEEE INFOCOM Workshops.
[28] Rudusans, G., & Vitols, G. (2021). Machine Learning Methods for Classification of Sensitive Data. RRD.
[29] Cerbo, A. et al. (2019). Personal Data Detection under GDPR using Supervised ML. Big Data & Cybersecurity Conf.
[30] Narvala, H. et al. (2021). RelDiff: Enriching Knowledge Graph Relation Representations for Sensitivity Classification.
[31] Splunk. Defining and Detecting PII in Log Data.
[32] European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Privacy by Design in Big Data.
[33] Tesseract. https://github.com/tesseract-ocr/tesseract, última visita 29/08/2025.
[34] EasyOC. https://github.com/JaidedAI/EasyOCR, última visita 29/08/2025.
[35] YOLOv8. https://github.com/ultralytics/ultralytics, última visita 29/08/2025.
[36] OpenCV. https://github.com/opencv/opencv, última visita 29/08/2025.
[37] Detectron2. https://github.com/facebookresearch/detectron2, última visita 29/08/2025.
[38] Docker. Documentation and Containerization Best Practices. https://docs.docker.com, última visita 29/08/2025.
[39] Modelo es_core_news_md https://spacy.io/models/es#es_core_news_md, última visita 29/08/2025.
[40] spaCy. Industrial-Strength NLP in Python. https://spacy.io, última visita 29/08/2025.
[41] FastAPI. Modern Web Framework for APIs. https://fastapi.tiangolo.com, última visita 29/08/2025.
[41] Arquitectura Presidio. https://github.com/microsoft/presidio/blob/main/docs/design.md, última visita 29/08/2025.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Apache Flink para Monitoreo Energético en Tiempo Real

Cristian Iglesias[1]; Jorge Osio[1, 2]; Diego Encinas[1, 3]

[1] Proyecto SimHPC - TICAPPS, Universidad Nacional Arturo Jauretche - Instituto de Ingeniería y Agronomía

[2] Grupo de Control Aplicado, Instituto LEICI (UNLP-CONICET).

[3] Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) - Facultad de Informática - UNLP – Centro Asociado CIC

cristianniglesias@gmail.com,{josio, dencinas}@unaj.edu.ar

## Resumen

*Este trabajo aborda un tema central en el área energética, el monitoreo de consumo eléctrico, primordial a la hora de la toma de decisiones y análisis en la efectividad de las instalaciones a nivel industrial. Se describe la realización de una infraestructura escalable para el procesamiento de flujos en tiempo real, por medio de tecnologías disponibles en el mercado, permitiendo visualizar, mediante dashboards, los datos ingresados y además, realizarles diferentes operaciones en el mismo instante del ingreso de datos, obteniendo información primordial sobre cómo va evolucionando el consumo energético. A su vez, se analiza y proyecta la incorporación a esta infraestructura, modelos incrementales de inteligencia artificial con el fin de detectar patrones en el consumo seguido de actos predictivos.*

## Palabras Claves

Procesamiento de Flujos; Monitoreo Energético en Tiempo Real; Apache Flink; Visualización de Datos; Series Temporales; Ventanas de Agregación; Grafana; Sistemas de Análisis Energético

## Introducción

En la actualidad, la cantidad de dispositivos conectados que generan datos en tiempo real crece de forma exponencial. Desde sensores industriales hasta dispositivos domésticos inteligentes, estos equipos producen flujos constantes de datos que representan eventos, condiciones y comportamientos en distintos entornos. Esta expansión de dispositivos IoT plantea nuevos desafíos para el procesamiento eficiente de grandes volúmenes de información, especialmente cuando se busca actuar en tiempo real sobre dichos datos.

Desde una perspectiva personal, este trabajo representa una oportunidad para integrar y aplicar conocimientos adquiridos en comunicación entre dispositivos, manejo de sensores y flujos de datos. Existe además un interés particular en el análisis de métricas obtenidas a partir de sensores distribuidos, dado que estos dispositivos permiten recolectar datos en gran volumen y con alto nivel de granularidad. Tener la posibilidad de capturar, procesar y analizar estas métricas en tiempo real abre la puerta a descubrir patrones, optimizar procesos y detectar situaciones anómalas que de otro modo podrían pasar desapercibidas.

Como objetivo se busca diseñar e implementar una infraestructura computacional distribuida y escalable orientada al procesamiento eficiente de métricas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



provenientes de sensores IoT en tiempo real, con el propósito de habilitar capacidades de monitoreo del consumo energético a nivel de dispositivos.

Desarrollar un pipeline de captura y transmisión de métricas, empleando protocolos de mensajería como MQTT, Kafka, orientado a entornos IoT industriales con múltiples nodos de monitoreo.

Diseñar un esquema de almacenamiento histórico optimizado que permita la persistencia eficiente de los datos recopilados, facilitando consultas analíticas posteriores.

Integrar un motor de procesamiento de flujos de datos, como por ejemplo Apache Flink, para la ejecución de transformaciones, agregaciones y filtrado de métricas energéticas en tiempo real, soportando análisis continuo a nivel de dispositivo.

## Estado del Arte

En los últimos años, el procesamiento de datos en tiempo real ha adquirido una importancia central tanto en la industria como en el ámbito académico. Esto ha impulsado el desarrollo de distintas plataformas de stream processing, cada una con enfoques arquitectónicos y niveles de madurez distintos. Entre las más utilizadas se encuentran Apache Spark Streaming, Apache Storm, Kafka Streams y Apache Flink, las cuales se han consolidado como herramientas de referencia en distintos escenarios de aplicación **[1]**.

En el caso de Apache Spark Streaming, su principal aporte fue extender el paradigma de procesamiento por lotes de Spark hacia un esquema de micro-batching. Esta técnica consiste en agrupar pequeños lotes de datos entrantes para ser procesados de manera periódica. Si bien este enfoque facilita la integración con el ecosistema Spark y simplifica el modelo de programación, también introduce una latencia mayor respecto a las arquitecturas que procesan eventos de manera estrictamente continua. Diversos estudios han señalado esta característica como una limitación frente a contextos donde se requiere baja latencia en la toma de decisiones **[2]**.

Por otro lado, Apache Storm se destacó en sus primeros años por ofrecer una de las primeras alternativas de código abierto para el procesamiento de flujos con baja latencia. Su modelo de topologías basado en spouts (fuentes de datos) y bolts (operadores de procesamiento) permitió la construcción de pipelines distribuidos capaces de procesar grandes volúmenes en tiempo real. Sin embargo, la plataforma presenta restricciones importantes en el manejo de estado, lo que complica su uso en aplicaciones que requieren persistencia de información intermedia. Asimismo, la ausencia de soporte nativo para event-time y watermarks dificulta su utilización en entornos donde los datos pueden llegar desordenados o con retrasos, como sucede comúnmente en redes de sensores **[3]**.

En contraste, Kafka Streams propone un enfoque más liviano: en lugar de operar como un motor independiente, se implementa como una librería que se ejecuta dentro de aplicaciones Java o Scala, apoyándose en Kafka como sistema de mensajería subyacente. Este diseño reduce la complejidad operativa y facilita su adopción en proyectos que ya utilizan el ecosistema Kafka. Sin embargo, su dependencia directa de los recursos computacionales de la aplicación limita su escalabilidad frente a plataformas distribuidas completas. Por este motivo, si bien Kafka Streams resulta adecuado para aplicaciones con un alcance acotado o de mediana envergadura, no siempre es la opción más robusta para proyectos de gran escala **[4]**.

En contraposición, Apache Flink **[5]** ofrece un modelo de ejecución diseñado desde su concepción para el streaming nativo. A diferencia de Spark, no requiere de micro-batches, sino que procesa cada evento en el momento en que llega, logrando latencias de milisegundos. Asimismo, incorpora un sistema avanzado de gestión de estado, respaldado en mecanismos de checkpoints y savepoints que permiten tolerancia a fallos sin pérdida de datos. La introducción de watermarks y el soporte completo para event-time lo posicionan como una de las plataformas más sólidas para entornos con datos desordenados o con alta variabilidad en los tiempos de arribo. Además, Flink permite ejecutar tanto cargas batch como streaming en un mismo motor, facilitando la combinación de arquitecturas.

Frente a esta realidad, las arquitecturas de procesamiento por lotes resultan insuficientes para brindar respuestas oportunas ante situaciones críticas. En cambio, el procesamiento de flujos (stream processing) emerge como una solución viable **[6]** y necesaria, permitiendo analizar los datos en el momento en que son generados. Esta capacidad es clave en sectores como la industria, la seguridad, mercados financieros, la salud o la agricultura, donde una rápida detección de anomalías puede evitar pérdidas, optimizar procesos o incluso salvar vidas.

Además, las empresas enfrentan una creciente necesidad de adaptarse con rapidez a los cambios en sus entornos operativos. Tecnologías como Apache Flink ofrecen una alternativa robusta y escalable para el análisis de datos en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



movimiento, Fernández Moreno **[7]** y Fajardo **[8]** han validado el desempeño de Flink en contextos IoT industriales.

Desde la perspectiva industrial, un monitoreo detallado e individualizado de dispositivos posibilita una detección temprana de fallos, reducción significativa en costos de mantenimiento predictivo, optimización del consumo energético y mejora sustancial en la seguridad operativa.

Desde el punto de vista social y profesional, una infraestructura que permita la detección temprana de anomalías en tiempo real puede generar un impacto característico. No solo reduce la dependencia de arquitecturas centralizadas y costosas, sino que democratiza el acceso a tecnologías de análisis de datos, haciendo posible su aplicación en contextos con limitaciones técnicas o económicas. Además, el abordaje de este problema contribuye al campo profesional con nuevas perspectivas sobre el uso de herramientas de streaming en entornos reales, potenciando la innovación en áreas clave del ecosistema digital actual.

## Arquitectura

La infraestructura está basada en contenedores Docker para la adquisición, procesamiento y análisis de métricas en tiempo real, obteniendo portabilidad y un despliegue rápido, eficiente y escalable de la aplicación **[9].**

En la **Figura 1.** Se pueden observar las tecnologías utilizadas en esta arquitectura. El flujo de datos se describe de la siguiente manera, los sensores envían datos de mediciones por medio del protocolo MQTT a una granularidad específica, estos llegan a un broker y posteriormente son almacenados en una cola de mensajes denominada Kafka. Apache Flink se conectará a Kafka y será quien consuma y procese estos datos. Flink distingue las mediciones por dispositivo y las almacena en ventanas de tiempo deslizantes, con un periodo de duración determinado. Las operaciones se realizan a medida que ingresan los eventos. Cada cierto tiempo, se cierran las ventanas correspondientes y los resultados obtenidos son visualizados en tiempo real en dashboards, además, pasan a ser almacenados en nuevas colas de mensajes que serán consumidas para persistir esos datos en una base de datos externa. Por lo tanto, los dashboards serán, de las mediciones sin procesar exportadas por los dispositivos en el momento y de los resultados obtenidos de las agregaciones realizadas en cada ventana de tiempo específica además, Flink cuenta con una página embebida para visualizar los trabajos pendientes y en proceso, como también el estado de los mismos.

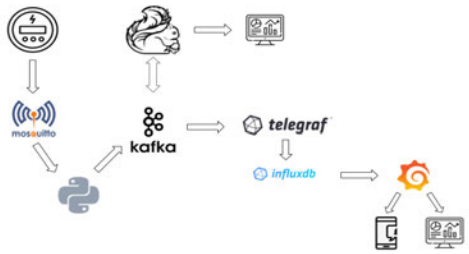



**Figura 1. Flujo de datos**

## Protocolos de Comunicación y Streaming de Eventos

MQTT también llamado transporte de telemetría de colas de mensajes es de baja latencia y permite conectar dispositivos IoT para una comunicación bidireccional y de bajo coste y consumo. Kafka, plataforma de streaming distribuido, permite almacenar, procesar y analizar datos en tiempo real de alto rendimiento. Combinando MQTT y Kafka se pueden obtener, por un lado, los datos de dispositivos enviados en tiempo real y almacenados en una cola de mensajes.

## Procesamiento de Flujos

El procesamiento de flujos de datos en tiempo real es llevado a cabo por Apache Flink quien estará orientado a la transformación, enriquecimiento y agregación de variables energéticas por dispositivo, siguiendo enfoques similares a los propuestos por Vélez et al. **[10]** para arquitecturas energéticas basadas en Kafka y Flink. Apache Flink, es un framework y motor de procesamiento, de baja latencia y alto rendimiento, para cálculos en memoria, con estado por medio de flujos de datos acotados o ilimitados. El procesamiento es en tiempo del evento. Su escalabilidad es de manera horizontal.

Por lo tanto, Apache Flink permite ingerir eventos en tiempo real, actualizando los resultados procesados constantemente y escritos en base de datos externas para posteriores consultas.

Se utilizan ventanas deslizantes para procesamiento de flujo de datos infinitos, que se dividen en flujos de tamaño finito para aplicar cálculos. Cada ventana se desplaza cada minuto. Se cuenta con 3 ventanas deslizantes, que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



recolectan información de los últimos 5, 15 y 60 minutos respectivamente. Se cuenta con un tiempo de retraso que permite extender el cierre de ventana, este puede ir cambiando según las necesidades, en este caso, se optó por ponerle un tiempo de 10 segundos antes de cerrarla. La clave de partición de ventanas es el nombre del dispositivo. Por lo tanto, a medida que ingresan datos, se los clasifica por el nombre del dispositivo al que corresponden y se les inserta la medición en la ventana correspondiente.

## Dispositivos

Los dispositivos de los que obtenemos la información, son medidores inteligentes que transmiten tensión, corriente, potencia activa y reactiva. La utilizada en esta arquitectura para su procesamiento es la potencia activa, a la cual se le realizan diferentes agrupaciones para obtener, promedio de potencia de los últimos 5 minutos, Demanda de potencia (KW) integrada de los últimos 15 minutos y Energía (KWh) integrada de los últimos 60 minutos los cuales son los denominados KPIs (Indicadores claves de desempeño). Los datos agregados cuentan con la fecha de procesamiento, nombre del dispositivo al que pertenecen y el valor propiamente dicho.

## Visualización de los Datos

El análisis, visualización y monitorización de los resultados se realiza mediante Grafana, a través de la construcción de paneles interactivos que permiten observar la evolución temporal de los indicadores. Grafana utiliza como fuente de información a InfluxDB, base de datos especializada en series temporales.

El flujo operativo planteado sigue la siguiente lógica: una vez que Apache Flink procesa los datos y los publica en una cola de mensajes, estos son recolectados por Telegraf, que actúa como conector y agente de transporte. Posteriormente, Telegraf inserta dichos registros en InfluxDB, donde quedan organizados en función de su marca temporal y etiquetas asociadas al dispositivo de origen. Finalmente, Grafana consulta directamente esta base y expone la información en tiempo real, facilitando tanto el análisis exploratorio como el seguimiento operativo de la infraestructura.

Esta separación de funciones asegura que los datos procesados no se limiten únicamente al pipeline de Flink, sino que puedan ser persistidos, consultados y reutilizados en distintos paneles de control o aplicaciones analíticas.

## Alertas

Además de la visualización, Grafana habilita la configuración de alertas sobre métricas específicas. Esto permite definir umbrales críticos (por ejemplo, potencia activa superior a cierto valor, o ausencia de lecturas en un dispositivo durante un intervalo prolongado) que, al ser superados, generan notificaciones inmediatas hacia los canales configurados.

De este modo, se logra una detección temprana de consumos anómalos, fallos de comunicación o problemas en el pipeline de procesamiento, habilitando reacciones proactivas sin necesidad de que un operador esté permanentemente supervisando los paneles. Esta capacidad resulta especialmente valiosa en contextos industriales o urbanos donde la continuidad del servicio eléctrico y la eficiencia energética son prioritarias.

La solución propuesta, además, se encuentra preparada para escalar hacia distintos entornos industriales, urbanos o rurales, incluso en escenarios con limitaciones de conectividad o con procesamiento centralizado, favoreciendo su adopción en infraestructuras heterogéneas.

## Orquestación del sistema

La orquestación de todos los componentes se asegura mediante Docker Compose **[11]**, lo que permite levantar, configurar y comunicar múltiples servicios con un único comando. Este enfoque reduce la complejidad de despliegue y facilita la replicación del entorno en distintos escenarios de prueba o producción.

Para esta arquitectura se definieron dos archivos de configuración:

- Un archivo principal, que concentra los servicios de ingesta y procesamiento.
- Un archivo complementario, destinado a la recolección de métricas y monitorización.

### Archivo Principal

En este archivo se incluyen los servicios básicos del pipeline. En la **Figura 2.** se detalla la comunicación entre los contenedores. El flujo muestra una arquitectura orquestada con Docker Compose en la que cada componente principal del pipeline de procesamiento de datos corre dentro de su propio contenedor. Esto asegura

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



independencia, portabilidad y facilidad de despliegue, ya que todo el sistema puede levantarse de forma coordinada.

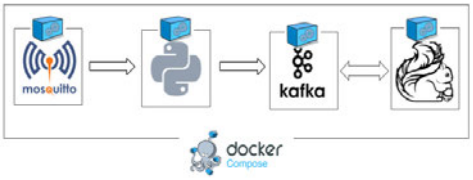



**Figura 2. Pipeline procesamiento principal**

En el extremo izquierdo de la imagen, aparece Mosquitto, un broker MQTT que actúa como punto de entrada de los datos. Allí se reciben mensajes provenientes de sensores o medidores eléctricos que publican continuamente información. Este broker permite manejar comunicación ligera, basada en tópicos, adecuada para dispositivos IoT.

El Servicio Python, corre dentro de un contenedor independiente. Su función principal es actuar como intermediario entre el Broker MQTT y Kafka, capturando la información entrante de los sensores y publicándose en los tópicos correspondientes de Kafka para su posterior procesamiento.

El servicio Kafka, desplegado en contenedores, funciona como sistema de streaming de eventos que garantiza la persistencia de los datos en tópicos, su distribución confiable a distintos consumidores y la escalabilidad del sistema. Aquí, los mensajes provenientes de Python quedan disponibles tanto para consumo en tiempo real como para posteriores análisis históricos.

Finalmente, el flujo llega a Apache Flink, que consume los mensajes desde Kafka. Flink es el motor de procesamiento en streaming que aplica transformaciones complejas, ventanas temporales y algoritmos de análisis. La doble flecha entre Kafka y Flink refleja que el procesamiento es bidireccional: Flink consume datos desde Kafka y puede escribir resultados procesados en otros tópicos del mismo broker.

Apache Flink, es desplegado con dos roles, uno de ellos es el de JobManager, que recibe el programa completo a ejecutar. Su tarea consiste en compilar el código en un grafo de ejecución (DAG) que refleja las etapas del flujo de datos y sus dependencias. El segundo rol es el de TaskManager, que constituye la unidad de ejecución en paralelo. Cada TaskManager corre subtareas (subtasks) derivadas de los operadores definidos en el programa (map, flatMap, window, sink, entre otros). La posibilidad de levantar múltiples instancias de TaskManager habilita la escalabilidad horizontal, distribuyendo la carga entre nodos y aumentando el paralelismo de manera eficiente.

En conjunto, el esquema describe un pipeline de ingesta y análisis en tiempo real: los sensores publican en Mosquitto se normalizan en Python se almacenan en Kafka se procesan con Flink, todo dentro de contenedores gestionados por Docker Compose.

## Archivo Monitoreo

Para monitorear y visualizar los datos, se utiliza un segundo archivo **docker-compose-metricas.yml** el cual está formado por los siguientes servicios dockerizados: Grafana, InfluxDB y Telegraf como se muestra en la **Figura 3**.

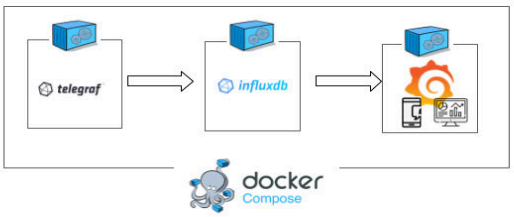



**Figura 3. Pipeline monitoreo**

Este pipeline corresponde a la capa de monitoreo y visualización en tiempo real del sistema. Cada componente corre dentro de su propio contenedor, lo que asegura modularidad y facilidad de despliegue junto con los servicios principales.

El proceso comienza en Telegraf, un agente de recolección de métricas. En este caso, Telegraf está configurado como consumidor de Kafka, leyendo los datos ya procesados por Apache Flink. De esta forma, no se consume el stream crudo proveniente de los sensores, sino el resultado enriquecido y analizado, lo que reduce la carga en la capa de monitoreo y garantiza que los datos visualizados corresponden a valores de promedios por ventana, eventos por dispositivo.

Una vez recolectados, Telegraf inserta los datos en InfluxDB, una base de datos orientada a series temporales optimizada para almacenar información que varía en el tiempo (mediciones energéticas, métricas de consumo, estados de dispositivos). InfluxDB organiza los datos en función de timestamps, etiquetas y valores, lo que permite realizar consultas rápidas sobre períodos de tiempo definidos.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Sobre esta base de datos se monta Grafana, que consume datos directamente desde InfluxDB. Grafana ofrece dashboards interactivos en los que se pueden visualizar la evolución de las métricas en tiempo real, con gráficos de consumo, cargas activas y anomalías detectadas. Gracias a su integración nativa, Grafana también permite definir reglas de alerta: umbrales que, cuando son superados, disparan notificaciones automáticas.

En este escenario, las alertas no solo quedan registradas en los paneles de Grafana, sino que se configuran integraciones con canales externos como Telegram. Esto habilita el envío de mensajes instantáneos a dispositivos móviles o grupos de trabajo cuando ocurre un evento crítico (por ejemplo, un consumo anómalo, una caída en la frecuencia de un medidor).

## Orquestación del sistema – Apache Flink Web UI

Dentro de la orquestación, un componente clave es Apache Flink, encargado del procesamiento en streaming. Una de las ventajas de Flink es que provee una interfaz web accesible desde el JobManager, donde se puede inspeccionar en tiempo real la ejecución de los trabajos desplegados. Esta herramienta resulta fundamental para la operación y el monitoreo de los pipelines de datos, ya que permite verificar tanto la topología de operadores como el estado de cada tarea en ejecución. Además de la topología de operadores y el estado de cada tarea, la interfaz expone el estado del clúster, permite visualizar el JobManager y los TaskManagers registrados.

En la **Figura 4** se presenta la vista del grafo de ejecución de un job desplegado en Apache Flink, donde se representan los distintos operadores que conforman el flujo de procesamiento. En la parte superior se identifica la fuente de datos (Kafka Source → parse-json → assign-ts-wm), encargada de consumir los mensajes provenientes del tópico configurado en Kafka, transformarlos desde formato JSON y asignar tanto el tiempo de evento (event-time) como los watermarks que determinan el avance lógico del flujo. Este punto marca el inicio del pipeline y asegura que los datos se procesen respetando su temporalidad, incluso en presencia de eventos retrasados o fuera de orden.

A partir de esta fuente, el flujo se ramifica en tres ramas paralelas mediante particionado de tipo HASH, garantizando que los datos se distribuyan consistentemente según la clave definida. Cada rama corresponde a una ventana de agregación distinta, diseñada para extraer indicadores energéticos de diferente granularidad. La primera rama, identificada como win-5m-prom, calcula el promedio de potencia activa en intervalos de 5 minutos, útil para observar tendencias inmediatas y detectar variaciones rápidas en el consumo. La segunda rama, win-15m-kw, realiza la integración de la demanda de potencia cada 15 minutos, un KPI fundamental en entornos industriales y comerciales por su relación directa con la determinación de la potencia máxima demandada y los costos asociados. Finalmente, la tercera rama, win-60m-kwh, computa la energía acumulada en ventanas de 60 minutos, expresada en KWh, métrica esencial para el seguimiento de patrones de consumo y la construcción de perfiles de carga horarios.

Cada operador de ventana envía sus resultados a un sink específico de métricas, compuesto por un Writer y un Committer, lo que asegura la persistencia confiable de los datos y la posibilidad de ser consumidos por servicios posteriores de almacenamiento o visualización.

Este grafo de ejecución ilustra cómo Flink gestiona de manera eficiente un mismo flujo de datos distribuyéndolo en varias ramas para generar diferentes indicadores clave de desempeño, manteniendo la consistencia temporal y garantizando tolerancia a retrasos en la llegada de eventos. La visualización confirma la correcta configuración de las ventanas y la estabilidad del sistema, aspectos críticos para el análisis energético en tiempo real.

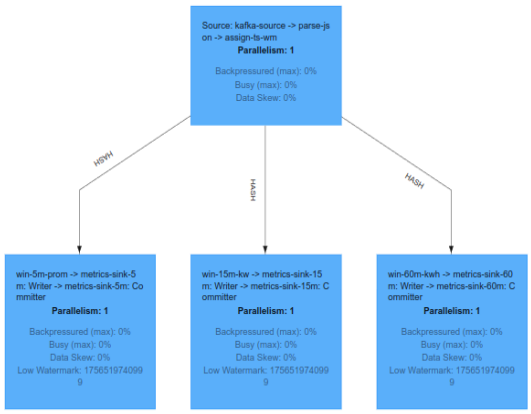



**Figura 4. Operadores de flujo**

La interfaz también ofrece métricas de cada operador tales como paralelismo, nivel de backpressure, uso de CPU, latencias, y la posición de los watermarks en el tiempo de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



evento. Esto no solo facilita el monitoreo en tiempo real, sino que también permite identificar cuellos de botella o desbalances en el procesamiento, aspectos críticos en aplicaciones de análisis energético en streaming.

En el contexto de Flink, los watermarks son marcas de tiempo especiales que indican hasta qué punto en el flujo de datos se ha procesado la información en función del event-time. Es decir, un watermark con valor *t* garantiza que no se espera la llegada de eventos con marcas de tiempo menores a *t*. Gracias a esta noción, Flink puede manejar datos que llegan desordenados o con cierto retraso, cerrando ventanas únicamente cuando tiene la certeza de que todos los eventos relevantes ya fueron considerados.

De manera complementaria, el monitoreo del nivel de backpressure permite evaluar si un operador está recibiendo datos más rápido de lo que puede procesarlos, lo que podría derivar en colas internas y aumento de latencia. El paralelismo muestra cuántas instancias de un operador están ejecutándose en paralelo, lo cual es clave para dimensionar la escalabilidad del sistema. A su vez, las métricas de uso de CPU y memoria aportan visibilidad sobre el consumo de recursos, mientras que las latencias reflejan el tiempo real que tarda un evento en atravesar el pipeline desde su origen hasta el sink.

En conjunto, estos indicadores paralelismo, backpressure, recursos, latencia y watermarks permiten no solo garantizar la correctitud temporal del procesamiento, sino también optimizar el rendimiento, detectar cuellos de botella y asegurar la calidad de servicio en un escenario de análisis energético en tiempo real.

## Origen de datos y definición de ventanas

El origen de los datos corresponde a medidores inteligentes, dispositivos capaces de transmitir variables eléctricas en tiempo real tales como tensión, corriente, potencia activa y potencia reactiva. Para la arquitectura propuesta, la variable seleccionada como base de procesamiento es la potencia activa (P), dado que representa de manera directa el consumo de energía eléctrica de cada dispositivo.

Sobre esta señal se aplican tres ventanas de agregación basadas en el tiempo de evento, cada una con un propósito específico en el análisis energético:

La primera es una ventana de 5 minutos de tipo *TumblingEventTimeWindows*. Este tipo de ventana divide el flujo en intervalos de tiempo fijos y no solapados, generando un promedio de potencia activa cada cinco minutos. Su función es capturar la evolución inmediata del consumo en segmentos claros y consecutivos, lo que facilita la detección de variaciones rápidas o inestabilidades en el comportamiento de los dispositivos monitoreados.

- En segundo lugar, se utiliza una ventana de 15 minutos de tipo *SlidingEventTimeWindows*. A diferencia de la anterior, este tipo de ventana permite que los intervalos se solapen en el tiempo, lo que significa que cada nuevo evento puede pertenecer a más de una ventana. De esta forma, se obtiene una visión más granular de la demanda integrada en 15 minutos, generando indicadores que se actualizan de manera continua. Esta configuración resulta especialmente valiosa en contextos industriales, ya que ofrece una estimación más precisa y oportuna de la potencia máxima demandada, utilizada frecuentemente en esquemas de facturación energética.

- Finalmente, se emplea una ventana de 60 minutos de tipo *TumblingEventTimeWindows*, destinada al cálculo de la energía acumulada (KWh). Esta ventana no se solapa, por lo que cada hora se genera un valor único y consolidado del consumo energético. Dicho indicador es fundamental para la construcción de perfiles horarios de carga, el análisis de eficiencia energética y la comparación de patrones de consumo a lo largo del tiempo.

Cada uno de los datos resultantes se almacena con metadatos adicionales: la fecha y hora de procesamiento, el identificador del dispositivo de origen, y el valor agregado calculado. Esta estructura asegura trazabilidad y facilita posteriores análisis tanto en tiempo real como históricos.

La elección de estas tres ventanas responde a criterios prácticos: el promedio en 5 minutos aporta granularidad fina para detección temprana de anomalías; la demanda en 15 minutos se alinea con los estándares de medición energética; y la energía horaria constituye un KPI consolidado, requerido en la mayoría de los informes de gestión energética. De esta manera, el sistema combina granularidad, utilidad industrial y visión de largo plazo en un mismo pipeline de procesamiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Experimentación

Para la validación inicial de la arquitectura propuesta se optó por trabajar con archivos CSV que contenían registros históricos de mediciones eléctricas (corriente, tensión, potencia activa y potencia reactiva). Esta elección se debió a que aún no se disponía de medidores inteligentes en línea conectados a la infraestructura, pero se buscaba reproducir un escenario lo más cercano posible al comportamiento real.

Los datos fueron utilizados como insumo para simular el flujo continuo proveniente de dispositivos inteligentes. Con este propósito, se desarrolló un publicador en Python que enviaba las lecturas al broker MQTT (Mosquitto), respetando una granularidad temporal de 1 segundo entre cada muestra. Esta frecuencia fue seleccionada porque representa un nivel de detalle suficiente para capturar variaciones de carga y, al mismo tiempo, es un valor operativo manejable para el pipeline de procesamiento.

En la simulación se consideraron tres flujos de datos simultáneos, correspondientes a tres sensores diferentes. Esta configuración permite evaluar la capacidad del sistema para manejar concurrencia, balancear múltiples fuentes en paralelo y verificar que los resultados obtenidos conservan la trazabilidad por dispositivo.

Una vez inyectados en MQTT, los datos recorrieron el pipeline definido en la arquitectura:

1. Kafka actuó como plataforma de mensajería distribuida, proporcionando almacenamiento temporal de los eventos y asegurando su disponibilidad tanto para consumidores en línea como para procesos posteriores de análisis.

2. Apache Flink procesó el flujo de datos en tiempo real, aplicando tres ventanas temporales deslizantes con objetivos específicos:

    - Ventana de 5 minutos: cálculo del promedio de potencia activa para capturar la tendencia inmediata y detectar cambios rápidos en el consumo.

    - Ventana de 15 minutos: estimación de la demanda integrada, indicador clave en contextos industriales y comerciales para determinar potencia máxima demandada y costos asociados.

    - Ventana de 60 minutos: cálculo de la energía acumulada (KWh), métrica esencial para el seguimiento del consumo horario y la construcción de perfiles de carga.

3. Telegraf fue configurado como conector para consumir los resultados procesados desde Kafka e insertarlos en InfluxDB, una base de datos optimizada para series temporales.

4. Finalmente, Grafana permitió la visualización de los resultados y la configuración de alertas. Gracias a su integración con InfluxDB, se diseñaron dashboards dinámicos que muestran tanto las métricas instantáneas como los valores agregados en ventanas de tiempo.

La **Figura 5** muestra un ejemplo de estos resultados. En el primer panel (Realtime | Potencia W) se observa la potencia activa instantánea de los tres medidores simulados, con publicaciones cada 1 segundo. Esta vista revela la variabilidad natural de la señal eléctrica, reflejando tanto periodos de estabilidad como picos de mayor consumo. En el segundo panel **Figura 6** (Medidores p_prom_5m_W) se encuentran los valores promediados en ventanas fijas de 5 minutos las cuales, ofrecen una visión más clara de la tendencia de cada dispositivo. Esta representación resulta especialmente útil para comparar el comportamiento relativo de distintos medidores en horizontes de corto plazo.

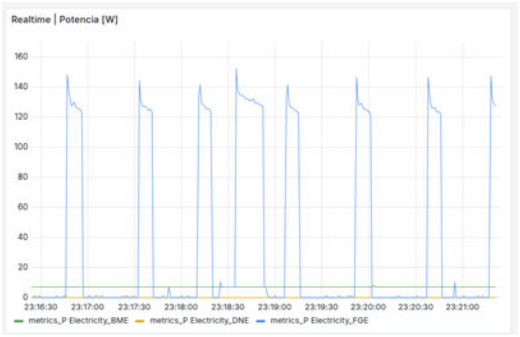



**Figura 5. Potencia instantánea [W]**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



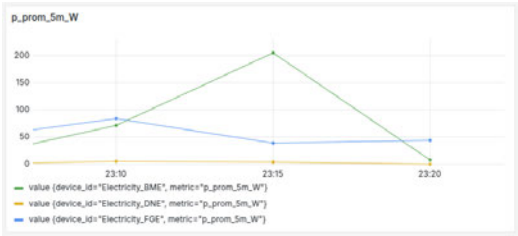



**Figura 6. Promedio potencia activa**

En la **Figura 7** se aprecia cómo la aplicación de distintas ventanas de tiempo permite observar el comportamiento energético desde perspectivas complementarias. La primera parte del gráfico, correspondiente a la ventana de 15 minutos, muestra cómo es posible detectar variaciones de corto plazo y visualizar de manera más clara los picos de demanda que surgen en intervalos reducidos. Este tipo de vista resulta especialmente útil para analizar la estabilidad operativa y anticipar situaciones de sobrecarga.

En contraste, la segunda parte de la figura, que refleja la energía acumulada en ventanas de 60 minutos, presenta una evolución más estable y consolidada del consumo. Aquí se suavizan las fluctuaciones instantáneas y se obtiene un indicador que permite construir perfiles horarios de carga, fundamentales para evaluar patrones de eficiencia energética y planificar la demanda en horizontes de mayor alcance.




**Figura 7. Demanda de potencia y energía por hora**

En la **Figura 8** se muestra un ejemplo de la funcionalidad de alertas en Grafana, donde es posible definir reglas asociadas a métricas específicas de los dispositivos monitoreados.

La incorporación de alertas permite no solo visualizar el estado actual de cada dispositivo en los paneles de control, sino también automatizar notificaciones en tiempo real. Gracias a la integración nativa de Grafana con múltiples canales de comunicación, estas alertas pueden vincularse a sistemas externos como Telegram, enviando mensajes directos cuando se detectan situaciones críticas, tales como consumos anómalos, picos de potencia o fallos de transmisión de datos.

De esta manera, las alertas actúan como un mecanismo proactivo de supervisión, garantizando que los responsables puedan reaccionar de forma inmediata ante eventos relevantes, sin depender únicamente de la observación manual de los paneles.




**Figura 8. Alertas grafana**

De esta forma, el experimento demostró la capacidad del sistema para procesar flujos de datos de alta frecuencia en paralelo (1 segundo por muestra, tres dispositivos a la vez), transformarlos en indicadores clave de desempeño (KPIs) mediante ventanas de agregación, y finalmente darles disponibilidad en un entorno de monitoreo en tiempo real. La arquitectura validó no solo la correcta integración entre sus componentes MQTT, Kafka, Flink, Telegraf, InfluxDB y Grafana sino también, la relevancia práctica de los resultados obtenidos, ya que los KPIs generados constituyen insumos directos para tareas de eficiencia energética, planificación de demanda y detección de anomalías.

## Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en esta fase de experimentación permiten validar la robustez de la arquitectura propuesta y su capacidad para procesar, almacenar y visualizar datos eléctricos en tiempo real. El uso de archivos CSV como fuente simulada de mediciones, transmitidos a través de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



MQTT con una granularidad de 1 segundo y tres sensores simultáneos, demostró que el pipeline es capaz de manejar múltiples flujos concurrentes sin pérdida de información ni degradación en la latencia de procesamiento.

La integración entre Kafka, Flink, InfluxDB y Grafana se mostró consistente: los datos fluyen de manera continua y quedan disponibles en tiempo real para su consulta y representación gráfica. Esta cadena asegura que los KPIs definidos (promedio de 5 minutos, demanda de 15 minutos y energía horaria en KWh) puedan calcularse de manera confiable, con trazabilidad por dispositivo y registro temporal preciso.

En términos de aplicabilidad, estos resultados iniciales constituyen una validación funcional del pipeline. El sistema ha probado ser capaz de transformar datos crudos en métricas de valor agregado, presentarlas en un entorno de monitoreo y sostener la operación bajo condiciones de concurrencia básica. Esto sienta las bases para avanzar hacia la siguiente etapa: la detección de anomalías y clustering en tiempo real.

La incorporación de algoritmos como DenStream **[12]** permitirán extender la funcionalidad de la arquitectura, pasando de la mera agregación de métricas a la identificación automática de comportamientos atípicos en los consumos. De esta forma, la arquitectura validada en esta experimentación no solo cumple con los requisitos de captura y visualización de datos, sino que también se proyecta como una plataforma escalable y flexible para la aplicación de técnicas avanzadas de aprendizaje no supervisado y detección de anomalías energéticas.

## Referencias

**[1]** A. Katsifodimos and S. Schelter, “Apache Flink™: Stream and Batch Processing in a Single Engine,” Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering, vol. 36, no. 4, pp. 28–38, Dec. 2015.

**[2]** M. Zaharia et al., “Discretized Streams: Fault-Tolerant Streaming Computation at Scale,” in Proc. 24th ACM Symp. on Operating Systems Principles (SOSP), 2013, pp. 423–438.

**[3]** N. Marz and J. Warren, Big Data: Principles and best practices of scalable real-time data systems. Manning, 2015.

**[4]** G. Wang, J. Li, and J. Wang, “Stream Processing Systems: A Comparative Study,” IEEE Access, vol. 7, pp. 1701–1716, 2019.

**[5]** Apache Flink, "Apache Flink: Stateful Computations over Data Streams", [Online]. Available: https://flink.apache.org/.

**[6]** H. M. Fajardo, “Estudio comparativo entre Apache Spark y Apache Flink en el procesamiento de streaming en entornos Big Data”. La Plata, Argentina: Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata, 2022. [En línea]. Disponible en: https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/155135

**[7]** F. A. Fernández Moreno, "Modularizing Flink Programs for IoT Stream Analytics," UPM, 2018.

**[8]** Fernández Moreno, Federico Alonso (2018). Modularizing Flink programs to enable stream analytics in IoT Mashup tools = Modularización de programas Flink para el análisis de datos en tiempo real en herramientas de Mashup para IOT. Tesis (Master), E.T.S.I. Telecomunicación (UPM).

**[9]** A. Gómez, D. García, and M. C. López, “Implementación de un sistema de monitoreo energético industrial basado en IoT y plataformas open source,” in Congreso Argentino de Ingeniería (CADI), Córdoba, Argentina, 2021.

**[10]** C. Vélez, L. Martínez, and J. Ruiz, “Arquitectura de análisis de datos energéticos en tiempo real aplicando Apache Kafka y Flink,” Revista Iberoamericana de Tecnología en Energía, vol. 7, no. 2, pp. 45–58, 2023.

**[11]** “Docker Compose.” Docker Docs. https://docs.docker.com/compose/

**[12]** F. Cao et al., "Density-Based Clustering over an Evolving Data Stream with Noise," SIAM, 2006. https://epubs.siam.org/doi/pdf/10.1137/1.9781611972764.29

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Seguridad en aplicaciones de Internet de las cosas

Chazarreta Facundo[1], Busum Fradera Matías Gabriel[1], Osio Jorge Rafael[1,2], Juan Salvatore[1], Czerwien Juan Carlos[1], Paez Martín[1], Montezanti Diego[1,4], Martín Morales[1,3]
1. *TICAPPS, IIyA, Universidad Nacional Arturo Jauretche*
2. *Instituto LEICI, Facultad de Ingeniería (UNLP - CONICET)*
3. *Centro UTN CODAPLI-FRLP, Berisso, Argentina.*
4. *Instituto LIDI, Facultad de Informática - UNLP*
{josio, fchazarreta, dmontezanti, jsalvatore, mbusum, martin.morales}@unaj.edu.ar

## Abstract
*En la actualidad el incremento de los sistemas de IoT (internet de las cosas) se hace cada vez más evidente, esto se puede observar a simple vista en todo tipo de áreas, como en dispositivos de uso cotidiano que posean una conexión a internet, por ejemplo, los relojes inteligentes, heladeras, hornos, alarmas, etc, o la agricultura para el riego y gestión inteligente de los recursos agrícolas, con el fin de mejorar la eficiencia de una plantación.*

*En este trabajo se buscó implementar una solución que permita añadir seguridad a todo un esquema de comunicación IoT, desde los dispositivos electrónicos, hasta los usuarios finales, mejorando la eficiencia en el tráfico de información cifrada en un ambiente seguro.*

**Palabras Clave**
Seguridad en IoT, software embebido, ciberseguridad.

## Introducción

Ahora la pregunta, ¿Qué es un sistema o arquitectura IoT?, la arquitectura de IoT es un sistema de elementos constituyentes, estructura de red, tecnologías de nube que funcionan de conformidad con los protocolos y estándares de seguridad establecidos. Este sistema se compone de diferentes capas. La capa física, que incorpora sensores para detectar, recopilar información sobre el entorno y detecta algunos parámetros físicos o reconoce otros objetos inteligentes en el entorno. La capa de red, que es responsable de la correlación con los dispositivos vinculados en la red y los servidores. Finalmente, la capa de aplicación es aquella que brinda servicios específicos de la aplicación al usuario.

Como se mencionó anteriormente el incremento de los sistemas IoT, en distintos tipos de áreas trae consigo el aumento de demanda para el mercado, haciendo de este mismo un punto de interés para diversos ciberataques, por eso la propuesta consiste en investigar, desarrollar e implementar un esquema de seguridad en sistemas IoT, con aplicación en el monitoreo de cultivo y calidad de agua, con el fin de optimizar la utilización de los tanto los recursos hídricos como la plantación en sí.

El proyecto tiene como objetivo principal Implementar una solución que permita añadir seguridad a todo un esquema de comunicación IoT, desde los dispositivos electrónicos, hasta los usuarios finales, mejorando la eficiencia en el tráfico de información cifrada en un ambiente seguro. Las metas previas para lograr el objetivo final se detallan a continuación:

- Implementar el cifrado en los dispositivos finales (basados en esp32)
- Lograr el tráfico cifrado de la información a través de los servidores administrados (mediante el boker emqx y un script desarrollado para realizar el descifrado)
- Implementación de un algoritmo que permita mejorar la eficiencia y la seguridad en la transferencia de datos cifrados

Previo a la implementación se describirán las técnicas de cifrado para utilizadas en la actualidad, tales como criptografía de clave simétrica, criptografía de clave asimétrica y Hashing.

### Criptografía

La criptografía es la ciencia de proteger y asegurar la información mediante técnicas de codificación y decodificación. Consiste en transformar los datos en un formato ilegible llamado "texto cifrado" (Codificación), que solo puede ser revertido a su forma original o "texto claro" utilizando una clave o algoritmo específico (Decodificación). Esta disciplina ha existido durante siglos y ha desempeñado un papel crucial en la protección de la comunicación y la confidencialidad de la información [1].

En la actualidad, se utilizan varios métodos para proteger la información y garantizar la seguridad de las comunicaciones, como, por ejemplo:

- **Criptografía de clave simétrica**: Este método utiliza una única clave para cifrar y descifrar los datos. Algunos algoritmos populares son el Data Encryption Standard (DES), el Advanced Encryption Standard (AES) y el Triple DES (3DES) [2].
- **Criptografía de clave asimétrica:** También conocida como criptografía de clave pública, utiliza un par de claves relacionadas: una clave pública y una clave privada.

La clave pública se comparte libremente, mientras que la clave privada se mantiene en secreto. Los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



algoritmos comunes incluyen *RSA*, *Diffie-Hellman* y *ElGamal* [1].

● **Hashing:** No es exactamente un método de cifrado, pero se utiliza ampliamente en criptografía. Los algoritmos de hash, como MD5, SHA-1, SHA-256 y SHA-3, convierten datos de cualquier tamaño en un valor hash fijo. Son útiles para verificar la integridad de los datos y generar firmas digitales [1].

En este trabajo se utilizó uno de los métodos más eficientes actualmente desarrollados en cuanto transito encriptado respecta (autenticación y cifrado en tránsito SSL/TLS). Secure Sockets Layer (SSL) y su sucesor Transport Layer Security (TLS) son protocolos de seguridad utilizados para garantizar la confidencialidad y autenticidad de las comunicaciones en Internet. SSL/TLS se utiliza comúnmente en el protocolo HTTPS (HTTP seguro), que proporciona una capa adicional de seguridad para las comunicaciones web.

**Cifrado en tránsito**: Una vez que se ha establecido la autenticación, SSL/TLS proporciona cifrado para proteger los datos durante su transmisión. Utiliza algoritmos de cifrado simétrico para cifrar los datos y garantizar que solo el destinatario legítimo pueda descifrarlos. Además, se utilizan claves de sesión únicas generadas durante el proceso de conexión para proporcionar confidencialidad.

En general, SSL/TLS utiliza una combinación de algoritmos criptográficos, como algoritmos de clave simétrica (por ejemplo, **AES**) para el cifrado de datos y algoritmos de clave asimétrica (por ejemplo, RSA) para el intercambio de claves y autenticación.

## Tecnologías y Herramientas

A continuación, se describirán las tecnologías y herramientas utilizadas para la comunicación segura entre los dispositivos finales y el servidor IoT.

### *Certificación de seguridad Web TLS y SSL*

**TLS (Transport Layer Security)** y su predecesor, **SSL (Secure Sockets Layer)**, son protocolos criptográficos que proporcionan comunicaciones seguras a través de una red, comúnmente Internet [3]. La función principal de SSL y TLS es proporcionar una conexión segura entre el cliente y el servidor para proteger los datos sensibles en tránsito. Lo logran a través de técnicas de cifrado, donde los datos enviados entre el cliente y el servidor se codifican de tal manera que solo pueden ser descifrados por el destinatario previsto. Además, proporcionan autenticación y garantizan la integridad de los datos.
SSL fue desarrollado por Netscape en los años 90. La versión 3.0 de SSL fue la última versión del protocolo antes de que se reemplazara por TLS. TLS 1.0, publicado en 1999, se basó en SSL 3.0, con varias mejoras y cambios para aumentar la seguridad. Desde entonces, ha habido varias versiones de TLS, con la última versión (en el momento de escribir esto en septiembre de 2021) siendo TLS 1.3. La evolución de SSL a TLS ha aportado numerosas mejoras en seguridad y eficiencia, entre las que se incluyen:

- **Negociación de cifrado más segura**: Las versiones modernas de TLS utilizan una negociación de cifrado más segura para prevenir ciertos tipos de ataques.
- **Cifrado más fuerte**: A lo largo de los años, tanto SSL como TLS han dejado de utilizar algoritmos de cifrado que se consideran inseguros y han adoptado algoritmos más fuertes.
- **Mejoras en la eficiencia**: Las versiones modernas de TLS, como TLS 1.3, han simplificado el proceso de "handshake" para mejorar la eficiencia y reducir la latencia.

Las ventajas de usar SSL/TLS en la actualidad incluyen:

- **Seguridad de los datos**: Los protocolos SSL y TLS protegen los datos del usuario de ser leídos o modificados mientras están en tránsito.
- **Autenticación**: Estos protocolos también verifican la identidad de los servidores (y en algunos casos, los clientes), lo que ayuda a prevenir ataques de phishing y man-in-the-middle.
- **Confidencialidad del cliente**: Al encriptar los datos en tránsito, SSL/TLS ayudan a proteger la privacidad de los clientes.
- **Conformidad**: Para ciertas industrias y regiones, el uso de encriptación en tránsito es un requisito para cumplir con las normas y regulaciones de protección de datos.
- **Confianza del cliente**: Muchos navegadores web indican visualmente cuando una conexión es segura mediante el uso de un candado en la barra de direcciones, lo que puede aumentar la confianza del cliente en el sitio web.

### *Broker (EMQX)*

Se comenzará explicando qué es un broker. Un broker es un servidor de mensajería que utiliza el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que es un protocolo de mensajería de código abierto diseñado para su uso en situaciones de baja potencia y conectividad de red, especiales para dispositivos como el ESP32 [4]. El protocolo cumple la función de coordinar la comunicación entre dispositivos IoT [5], tal como se muestra en la figura 1.

Ahora EMQX es un broker de mensajería de código abierto altamente escalable y confiable que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



está diseñado para la gestión de mensajes en tiempo real y en grandes cantidades.

El broker es compatible con una amplia variedad de dispositivos y plataformas. Además, de ofrecer una amplia gama de funciones de seguridad, como el cifrado **TLS** (Transport Layer Security) / **SSL** (Secure Sockets Layer), que es un protocolo de seguridad utilizado para establecer una conexión segura entre un servidor web y un navegador web. La **autenticación**, que se realiza a través de la validación de credenciales ingresadas por el usuario. Finalmente, la **autorización está basada en certificados**, lo que garantiza que los datos estén seguros durante la transmisión y la convierte en una herramienta muy flexible y eficiente para el desarrollo de este trabajo.

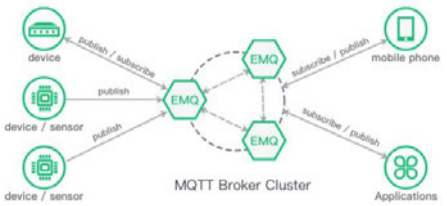



*Fig. 1. Funcionamiento del broker. Fuente: Recuperado de https:https://www.emqx.io/docs/en/v3.0/ (2023)*

***MQTTX (Emqx)***

Para el descifrado del algoritmo XOR se utilizó como prueba la aplicación MQTTX, la cual es proporcionada por Emqx.
MQTTX soporta el protocolo MQTT v5.0 y MQTT v3.1.1, admite MQTT sobre WebSockets, es compatible para diversas plataformas como Windows, macOS y Linux.
Finalmente posee una característica de gran interés para este trabajo que es la capacidad de introducir un Script personalizable para simular pruebas de datos en lenguaje java.

***Arduino IDE***

Arduino IDE (Integrated Development Environment) es el entorno de desarrollo integrado oficial de Arduino. Es una herramienta de software que proporciona todo lo necesario para escribir, compilar y cargar programas en todo tipo de placas, en este trabajo específicamente se utilizó el ESP32 (Dispositivo programable con conectividad wifi). La plataforma trae consigo ciertas ventajas que facilitan la compilación y escritura del código, como lo son, por ejemplo:

- Interfaz simple y fácil de usar: Arduino IDE presenta una interfaz gráfica intuitiva y sencilla que permite a los usuarios escribir y editar su código de manera eficiente. Incluso para aquellos que no tienen experiencia previa en programación, la interfaz de Arduino IDE es accesible y amigable.
- Lenguaje de programación basado en C/C++ simplificado: Arduino IDE utiliza un lenguaje de programación basado en C/C++ que ha sido simplificado y adaptado para facilitar su aprendizaje y uso.
- Biblioteca de código abierto: Arduino IDE viene con una biblioteca de código abierto que incluye una amplia variedad de funciones y ejemplos predefinidos.
- Facilidad de compilación y carga de programas: Arduino IDE permite compilar y cargar fácilmente programas en las placas Arduino. Una vez que se ha escrito el código, se puede verificar su sintaxis y compilarlo con solo presionar un botón.
Luego, el programa compilado se carga en la placa Arduino a través de una conexión USB, lo que permite su ejecución.
- Amplia comunidad y soporte: Arduino IDE cuenta con una comunidad activa de usuarios en todo el mundo. Esto significa que se puede acceder a una amplia gama de recursos, como tutoriales, documentación, foros de discusión y proyectos compartidos por otros usuarios.

***ESP32 (Dispositivo programable con conectividad wifi)***

El ESP32 es un microcontrolador de bajo consumo de energía que combina Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip [4].

En la actualidad se utiliza para desarrollar proyectos que requieren conectividad inalámbrica, como aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) [5], automatización del hogar, monitoreo y control remoto, además de muchos otros proyectos de electrónica y programación.

Este dispositivo presenta varias ventajas las cuales lo hacen ideal para la utilización en este trabajo, ya que incorpora capacidades Wi-Fi y Bluetooth integradas, lo que permite la conectividad inalámbrica fácil y versátil. Puede conectarse a redes Wi-Fi existentes y establecer comunicación inalámbrica con otros dispositivos a través de Bluetooth.

También posee un procesador dual-core Xtensa LX6, que funciona a una velocidad de hasta 240 MHz, esta potencia de procesamiento permite ejecutar aplicaciones complejas y manejar múltiples tareas simultáneamente.

El ESP32 tiene un muy bajo consumo de energía, a pesar de su potencia de procesamiento, es altamente eficiente en términos de consumo de energía, pudiendo operar en diferentes modos de bajo consumo, lo que lo hace adecuado para proyectos como el de este trabajo, que requieren una duración

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



prolongada de la batería ya que se tomarán mediciones constantes durante un tiempo prolongado.

La amplia gama de pines Entrada/Salida (E/S), permiten la conexión y control de diversos dispositivos y sensores (Temperatura, humedad, etc). Esto brinda flexibilidad en el diseño y grandes posibilidades para la expansión del proyecto.

Una gran capacidad de memoria es muy importante, ya que el almacenamiento donde va a estar alojado el programa tiene que ser suficiente para poder ejecutar el mismo de manera óptima. El ESP32 cuenta con 4 MB de memoria flash integrada, lo que proporciona un amplio espacio de almacenamiento para el programa y los datos. Además, dispone de 520KB de SRAM para el almacenamiento en tiempo de ejecución.

## Implementación del cifrado

En este apartado se describe la implementación de las técnicas de cifrado de extremo a extremo, comenzando por los dispositivos finales basados en el esp32 mediante la librería mbedtls, hasta la recepción en el servidor mediante el broker emqx. Desde el servidor mediante un script implementado en le guaje Python y por medio de la librería "*PyCryptoDome"* se realiza el descifrado para la correcta visualización de los datos.

### *ESP32 y Seguridad*

El ESP32 ofrece varias opciones de seguridad para garantizar la protección de los datos, y la comunicación. Estas son algunas de las características de seguridad del ESP32:

- Soporte para Wi-Fi protegido (WPA/WPA2) y cifrado de datos mediante AES y criptografía de clave pública.
- Bluetooth Secure Connections: el ESP32 admite Bluetooth de baja energía (BLE) con soporte para conexiones seguras mediante la encriptación AES-CCM.
- Almacenamiento seguro de claves: el ESP32 tiene una memoria segura para almacenar claves y datos sensibles de forma cifrada.
- Firma digital y verificación: el ESP32 puede firmar digitalmente los datos y verificar la autenticidad de las firmas.
- Generación de números aleatorios seguros: el ESP32 cuenta con un generador de números aleatorios criptográficamente seguro para garantizar la seguridad en aplicaciones como el cifrado.

- **Soporte para Secure Sockets Layer (SSL)/Transport Layer Security (TLS)**: el ESP32 puede utilizar SSL/TLS para establecer conexiones seguras en aplicaciones de red.
- **Protección contra ataques de desbordamiento de búfer y otras vulnerabilidades comunes**: el ESP32 implementa mecanismos de protección para prevenir ataques a través de desbordamientos de búfer y otros tipos de vulnerabilidades de software.
- **OTA (Over-The-Air) seguro**: el ESP32 permite la actualización de firmware de forma segura a través de la red Wi-Fi o Bluetooth utilizando protocolos seguros y verificación de integridad.
- **Soporte para criptografía de clave pública**: el ESP32 puede generar y utilizar claves públicas y privadas para cifrar y firmar digitalmente datos.

Estas características de seguridad permiten proteger la comunicación, autenticar dispositivos, cifrar datos y garantizar la integridad del firmware en el ESP32, lo que lo hace adecuado para llevar la aplicación a niveles de seguridad más altos.

### *Librería mbedtls*

mbed TLS es una biblioteca de código abierto que implementa el protocolo Transport Layer Security (TLS) y el protocolo Secure Sockets Layer (SSL) explicados anteriormente, así como un conjunto completo de criptografía relacionada. Fue desarrollada por ARM y es especialmente adecuada para dispositivos integrados debido a su diseño liviano y modular.

La biblioteca mbed TLS proporciona los algoritmos criptográficos fundamentales para la seguridad en la comunicación de datos, incluyendo el cifrado simétrico y asimétrico, funciones hash, generación de números aleatorios, y más.

Además de su utilidad en el cifrado y la protección de las comunicaciones de red, mbed TLS también es útil para autenticar a las partes en una comunicación, asegurando que los datos no hayan sido manipulados en tránsito (integridad de datos), y para garantizar que los datos sólo puedan ser accedidos por los destinatarios previstos (privacidad de los datos).

A pesar de ser una biblioteca liviana, mbed TLS es capaz de soportar una amplia gama de estándares criptográficos y protocolos de seguridad, incluyendo SSL v3, TLS v1, TLS v1.1, y TLS v1.2. También soporta una variedad de algoritmos de cifrado, incluyendo AES, DES, 3DES, RC4, Camellia, y más.

La biblioteca mbed TLS es altamente configurable y se puede compilar para incluir solo las características específicas que necesita una aplicación particular. La misma tiene implementaciones dedicadas en muchos de los IDEs y lenguajes de programación, como, por ejemplo, Arduino IDE y Python, lo que la hace ideal para este trabajo.

### *Algoritmo AES*

AES, o Advanced Encryption Standard, es un algoritmo de cifrado simétrico. Esto significa que utiliza la misma clave para el cifrado y el descifrado. AES fue desarrollado por dos criptógrafos belgas, Vincent Rijmen y Joan Daemen, y fue elegido como

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



estándar por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de EE.UU. en 2001 [6].

AES es un algoritmo de cifrado por bloques, lo que significa que divide los datos de entrada en bloques de un tamaño fijo (128 bits en el caso de AES), y luego realiza una serie de operaciones en cada bloque.

**AES Encriptado:** La información a cifrar, en nuestro caso Mensaje secreto, se agrupa en bloques de 16 bytes (128 bits) en una matriz de 4 x 4 como se muestra la figura 2.

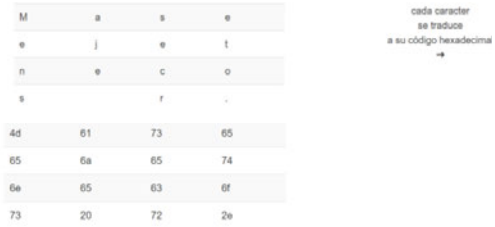



*Figura 2 - Encriptado AES (Mensaje a hexadecimal)[1].*

***AES Ejemplo práctico***

A continuación, se presenta un ejemplo del algoritmo AES implementado en Arduino IDE para este trabajo (ver figura 4), el cual tiene el fin de cifrar una cadena de datos, en este caso de tipo string.

```
#include "mbedtls/aes.h"
#include <cstring>

void encrypt(char * plainText, char * key, unsigned char * outputBuffer){
  mbedtls_aes_context aes;
  mbedtls_aes_init(&aes);
  mbedtls_aes_setkey_enc(&aes, (const unsigned char*) key, strlen(key) * 8);
  unsigned char paddedPlainText[16];
  memcpy(paddedPlainText, plainText, strlen(plainText));
  memset(paddedPlainText + strlen(plainText), 0, sizeof(paddedPlainText) - strlen(plainText));
  mbedtls_aes_crypt_ecb(&aes, MBEDTLS_AES_ENCRYPT, paddedPlainText, outputBuffer);
  mbedtls_aes_free(&aes);
}
void setup() {
  Serial.begin(115200);
}
void loop() {
  char myString[] = "Hola pirulo";
  char * key = "abcdefghijklmnop";
  unsigned char cipherTextOutput[16];
  encrypt(myString, key, cipherTextOutput);
  char encryptedData[33];   // Para almacenar el resultado cifrado como cadena hexadecimal
  encryptedData[32] = '\0';  // Terminador de la cadena
  for (int i = 0; i < 16; i++) {
    sprintf(&encryptedData[i*2], "%02x", (int)cipherTextOutput[i]); // Almacenar cada byte cifrado como dos caracteres hexadecimales
  }
  Serial.println(encryptedData);
  delay(5000);
}
```

*Figura 3. Cifrado con el esp32.*

El código incluye las bibliotecas necesarias (mbedtls/aes.h y cstring) para realizar el cifrado AES [6].

Se define una función encrypt, la cual toma un texto en plano (plainText), una clave de cifrado (key) y un buffer de salida (outputBuffer). Esta función realiza el cifrado AES del texto en claro utilizando la clave proporcionada y guarda el resultado en el buffer de salida.

Dentro de la función **encrypt**, inicializa el contexto AES, configura la clave de cifrado y rellena el texto en claro con ceros si es necesario para alcanzar el tamaño de bloque requerido por AES (16 bytes). Luego, realiza el cifrado AES y libera el contexto AES.

La función **setup**() inicializa la comunicación serie a una tasa de baudios de 115200.

La función **loop**() se ejecuta continuamente. En cada iteración, define una cadena y una clave, realiza el cifrado AES de la cadena utilizando la función **encrypt** y almacena el resultado en un buffer de salida.

Luego, el programa convierte el texto cifrado (en formato binario) a una cadena de caracteres hexadecimales y la imprime en el puerto serie.

Finalmente, el programa espera 5 segundos (5000 milisegundos) antes de comenzar la próxima iteración del bucle.

***Ejecución del bróker Emqx***

Para verificar que EMQX está corriendo en nuestro servidor utilizamos el comando:

- emqx_ctl status

Seguido de esto verificamos los puertos MQTT “8083” y “8084 (Dedicados a la conexión segura con certificado SSL)” encargados de recibir los mensajes estén habilitados, para esto utilizamos el comando:

- netstat -tuln | grep 8083
- netstat -tuln | grep 8084

Para el siguiente paso tenemos que conectarnos al WebSocket, para ello vamos a realizar una conexión segura mediante SSL como se muestra en la figura 4.



*Figura 4 - Conexión a WebSocket SSL.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***Implementación de librería mbedtls de Cifrado***

A continuación, se decribe el algoritmo AES implementado en Arduino IDE, a través de la librería "mbedtls/aes.h" el cual tiene el fin de encriptar un mensaje de 16 caracteres, que para esta prueba se simuló como una cadena de un mensaje previamente escrito, con el fin de poder verificar que el mismo se descifra de manera correcta.

Este código realiza un cifrado de bloques de texto utilizando el estándar de cifrado avanzado (AES,) en el modo ECB (Electronic CodeBook). En el modo ECB, cada bloque de texto se cifra de forma independiente con la misma clave. Esto significa que el mismo bloque de texto siempre se cifrará de la misma manera.

1. En la función **encrypt**:
   - Se crea un contexto de cifrado AES (**mbedtls_aes_context aes;**).
   - Se inicializa el contexto de cifrado AES (**mbedtls_aes_init(&aes);**).
   - Se configura la clave de cifrado (**mbedtls_aes_setkey_enc(&aes, (const unsigned char*) key, strlen(key) * 8);**).
   - Se rellena el texto a cifrar hasta llegar a los 16 bytes necesarios para AES (**memcpy y memset**).
   - Se realiza el cifrado en modo ECB (**mbedtls_aes_crypt_ecb(&aes, MBEDTLS_AES_ENCRYPT, paddedPlainText, outputBuffer);**).
   - Se libera el contexto AES (**mbedtls_aes_free(&aes);.**
   - En la función setup, se inicializa el puerto serie con una velocidad de 115200 bps (**Serial.begin(115200);**).
2. En la función **loop**:
   - Se define la cadena de texto a cifrar (**char myString[] = "Texto descifrado";**).
   - Se define la clave de cifrado de 16 caracteres (**char * key ="abcdefghijklmnop";**).
   - Se define un buffer para almacenar el texto cifrado (**unsigned char cipherTextOutput[16];**).
   - Se llama a la función "**encrypt"** para cifrar el texto (**encrypt(myString, key, cipherTextOutput);**).
   - Se convierte el texto cifrado (que está en formato binario) a una cadena hexadecimal para que pueda ser impresa (**sprintf(&encryptedData[i*2], "%02x", (int)cipherTextOutput[i]);**).

3) Finalmente se imprime el texto cifrado en el monitor serie (**Serial.println(encryptedData);**). Esto es con el fin de que luego se pueda capturar el dato en Python.

***Implementación de librería mbedtls para Descifrado***

Este script Python usa la biblioteca "*PyCryptoDome"* para descifrar el texto cifrado que se lee desde una conexión serial, y luego publica el texto descifrado a un broker MQTT [6].

A continuación, se detalla el funcionamiento del descifrado del mensaje recibido por el servidor:

1. *ser = serial.Serial('COM5', 115200):* Esta línea establece la conexión con el ESP32 a través del puerto serial 'COM5'(En la cual se encuentra conectado el dispositivo) a una velocidad de 115200 baudios.
2. Dentro del bucle while True, se utiliza *if ser.in_waiting > 0*: para verificar si hay datos disponibles para ser leídos desde el puerto serial. Si hay datos esperando, se procede a leerlos.
3. *line = ser.readline().decode('utf-8').rstrip():* Esta línea lee una línea completa de datos del puerto serial (hasta el próximo carácter de nueva línea), decodifica los bytes en una cadena de texto usando el estándar de codificación de caracteres UTF-8, y luego elimina cualquier espacio en blanco o carácter de nueva línea del final de la cadena de texto.
4. *plaintext = decrypt(line, key):* Aquí es donde se realiza el descifrado del texto. Se llama a la función decrypt, pasando la línea de texto cifrado y la clave de cifrado. Dicha función realiza las siguientes tareas:
   - Crea un nuevo objeto de cifrado AES en modo ECB usando la clave de cifrado (cipher = AES.new(key.encode(), AES.MODE_ECB)).
   - Descifra el texto cifrado (plaintext = cipher.decrypt(binascii.unhexlify(ciphertext))). El texto cifrado se pasa a la función binascii.unhexlify para convertirlo de una cadena hexadecimal a bytes antes de ser descifrado.
   - La función devuelve el texto descifrado convertido a una cadena de texto UTF-8 y se eliminan los caracteres nulos ('\0') que puedan haber quedado como resultado del relleno durante el cifrado.
5. Finalmente, se imprime el texto descifrado y se publica al broker MQTT con:
   client.publish("Salida/01", plaintext).

## Resultados

En la figura 5 se muestra un valor de temperatura de 16.1° descifrado en el servido mediante el sript implementado en Python. Este mensaje fue cifrado y enviado por el ESP32 al broker de Emqx. Este mismo es captado por el script de python el cual se encarga de mostrar cuál es su valor de cifrado, descifrarlo y publicarlo en el tópico "/v1/device1/temperature".

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



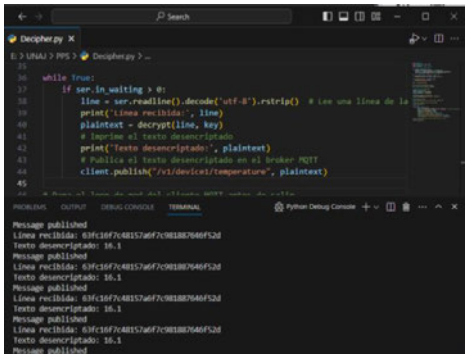



*Figura 5 - Mensajes cifrado y originales (Python)*
*Fuente: Propia*

Como podemos observar el mensaje enviado por el dispositivo es leído de manera correcta, mostrando su valor de encriptado en el campo "Línea recibida", su valor original en "Texto desencriptado" y finalmente es publicado en el tópico mencionado.

Seguido de esto pasamos a la verificación del mensaje recibido en el broker, conectándonos al mismo. A continuación, procedemos a suscribirnos al tópico donde se van a enviar los mensajes. Una vez que estamos suscritos, observamos que el mensaje esperado se recibe correctamente (ver figura 6).




*Figura 6.- Datos recibidos (Emqx)*

Como punto importante cabe destacar que este algoritmo también cifra máximo una cadena de 16 bits para el largo de un mensaje.

## Conclusión

La seguridad informática siempre ha atraído mi interés. A lo largo de la historia, la necesidad de encriptar y desencriptar mensajes ha desencadenado una revolución, que dio lugar a la primera computadora. Cuando se presentó la oportunidad de desarrollar este proyecto, no dudé en aceptarlo, ya que me permitía aplicar mis conocimientos en ciberseguridad, mi campo de trabajo actual, y mis conocimientos de IoT, que adquirí gracias a varias tareas en colaboración con el grupo de trabajo del Laboratorio de IoT y Sistemas Embebidos (IoT&SE) del programa TICCAPPS de la UNAJ.

A medida que avanzaba en el proyecto, fui comprendiendo diferentes técnicas de cifrado y protocolos. Estos son utilizados actualmente tanto por empresas privadas como por organismos certificados en seguridad informática. Una vez que comprendí estas técnicas y protocolos, fui capaz de aplicarlas en este proyecto para alcanzar los objetivos propuestos.

En términos de resultados, es importante destacar el papel crucial que juega la ciberseguridad en los sistemas informáticos actuales. Los ciberataques a empresas son cada vez más frecuentes, causando pérdidas millonarias. Por esta razón, en este trabajo no solo logramos nuestros objetivos, sino que también establecimos las bases para las buenas prácticas.

## Referencias

[1] Teoria.com. (n.d.). Encrypt. Recuperado el 22 de Febrero de 2023, de: https://www.teoria.com/jra/aes/encrypt.html
[2] Ramió Aguirre, J. (2022). Módulo 8: Criptografía simétrica en bloque. Recuperado el 24 de Marzo de 2023, de: https://www.criptored.es/libro/cap%C3%ADtulo%208%20Criptograf%C3%ADa%20sim%C3%A9trica%20en%20bloque.pdf
[3] Katz, J., & Lindell, Y. (2014). Introduction to Modern Cryptography (2nd ed.). CRC Press.
[4] Espressif Systems. (n.d.). Getting Started with ESP32-DevKitC Guide. Recuperado el 24 de marzo de 2023, de https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html
[5] Mattern, F., & Floerkemeier, C. (2020). From the Internet of Computers to the Internet of Things. Springer.
[6] Ferguson, N., Schneier, B., & Kohno, T. (2010). Cryptography Engineering: Design Principles and Practical Applications. Wiley.

**Datos de contacto**

*Facundo Ariel Chazarreta. Universidad Nacional Arturo Jauretche. CP 1888. chazita9@gmail.com.*
*Matías Gabriel Busum Fradera. Universidad Nacional Arturo Jauretche. CP 1888. matibf99@gmail.com.*
*Jorge Rafael Osio. Universidad Nacional Arturo Jauretche. CP 1888. josio@unaj.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Plataforma robótica de movilidad autónoma

Emmanuel Julio[1], Jorge Osio[1,2], Lorena Cabrera Saldívar[1], Julia Bonserio[1], Juan Piñeiro[1], Edgardo Ricci[1], Gabriela Pirato[1], Martín Morales[1,3]

1. *TICCAPS, IIyA, Universidad Nacional Arturo Jauretche*
2. *Instituto LEICI – Facultad de Ingeniería (UNLP - CONICET)*
3. Centro UTN CODAPLI-FRLP, Berisso, Argentina.

emajulio.ej@gmail.com, josio@unaj.edu.ar

## Abstract

*El proyecto Pampa nace con el objetivo de construir un sistema terrestre autónomo altamente versátil y modular, capaz de adaptarse a distintos escenarios de navegación y control sin depender exclusivamente de una estrategia fija. Su arquitectura permite cambiar dinámicamente entre modos de operación como control directo, evasión de obstáculos o desplazamiento planificado, lo que lo convierte en una plataforma ideal para experimentar con distintos enfoques de movimiento.*

**Palabras Clave**
Internet de las cosas, software embebido, robótica.

## Introducción

Los interesados en el desarrollo del proyecto Pampa abarcan un espectro amplio, tanto del ámbito académico como del productivo. En primer lugar, instituciones educativas y docentes comprometidos con la innovación tecnológica pueden ver en este proyecto una oportunidad concreta para fomentar el aprendizaje basado en proyectos reales, con integración multidisciplinaria entre electrónica, software y mecánica. Además, productores agrícolas, especialmente aquellos con parcelas medianas o pequeñas, podrían beneficiarse directamente de un sistema autónomo adaptable como Pampa para tareas de recolección de datos, diagnóstico de cultivos o incluso supervisión remota.

Su arquitectura modular y su capacidad para operar con diversas estrategias de movimiento le otorgan al proyecto una gran proyección futura. Puede evolucionar hacia aplicaciones más complejas, como patrullaje en seguridad rural, inspección de instalaciones, o incluso convertirse en una plataforma de prueba para nuevas tecnologías de sensores, algoritmos de IA (inteligencia artificial) o redes de IoT (internet de las cosas) colaborativas. Esta versatilidad lo hace especialmente atractivo para empresas de tecnología, desarrolladores de soluciones agrícolas inteligentes y centros de investigación que buscan una base flexible para probar sus desarrollos en condiciones reales.

## Estado del arte

El uso de robots móviles y sistemas de Internet de las Cosas (IoT) ha transformado múltiples industrias, más allá del ámbito agrícola. Estas tecnologías permiten mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y recopilar datos de forma precisa en entornos que antes requerían intervención humana directa. A continuación, se describen desarrollos relevantes tanto en agricultura como en otros sectores industriales:

***Agricultura inteligente***

- Robots autodirigidos: Tractores y plataformas móviles equipadas con módulos de IA y visión artificial capaces de realizar labores como siembra, detección de plagas, desmalezado y cosecha automatizada.
- Cosechadores autónomos: Utilizan visión computacional y actuadores de precisión para recolectar frutos (como fresas o manzanas) sin dañarlos, optimizando la producción en invernaderos y cultivos extensivos.
- Robots pulverizadores y drones de supervisión: Automatizan la aplicación de agroquímicos y permiten monitorear el estado del cultivo en tiempo real a través de imágenes aéreas y sensores climáticos.

***Minería y exploración***

- Rovers terrestres autónomos: Utilizados en minería para explorar terrenos hostiles, recolectar muestras y mapear con precisión sin exponer personas a ambientes de riesgo.
- IoT subterráneo: Equipos con sensores que reportan vibraciones, gases tóxicos y humedad para prevenir accidentes y optimizar los procesos de excavación.

***Logística y manufactura***

- Vehículos Autónomos Móviles (AMR): Robots capaces de moverse de forma independiente en almacenes, adaptando rutas en tiempo real y evitando obstáculos. Son ampliamente utilizados por empresas como Amazon, DHL y fabricantes automotrices.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Sistemas de inspección autónomos: Robots que recorren instalaciones industriales para controlar temperatura, vibraciones o fugas en tiempo real, reduciendo el tiempo de parada de líneas de producción.

***Salud y asistencia***

- Robots de monitoreo en hospitales: Equipados con cámaras, sensores de temperatura y comunicación inalámbrica, permiten vigilar pacientes, entregar medicamentos o desinfectar áreas sin intervención humana.
- Plataformas de asistencia en rehabilitación: Robots móviles que asisten en ejercicios terapéuticos controlados o en el traslado autónomo de pacientes dentro de instituciones médicas.

## Diseño de Hardware

***Transición a motores DC y necesidad de retroalimentación***

Se optó por motores de corriente continua, más eficientes desde el punto de vista energético y con mejor respuesta para tareas de tracción en el terreno. Esta transición exigió incorporar un sistema de medición de velocidad para mantener control sobre la locomoción. Se implementó entonces un tacómetro óptico con un disco de ranuras (inicialmente básico), que fue refinado hasta alcanzar un modelo de 24 ranuras, permitiendo una resolución adecuada para estimar la velocidad angular.
La velocidad angular ω se relaciona con la cantidad de pulsos por segundo N mediante la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{n}$$

donde n es el número de ranuras del disco (en este caso, 24). Esta velocidad angular puede ser convertida a lineal según el radio de las ruedas [1].

***Limitaciones de torque y cambios en el sistema de tracción***

A pesar de esta mejora, los motorreductores genéricos inicialmente utilizados eran incapaces de alcanzar la velocidad mínima deseada de aproximadamente 2 cm/s, y carecían del torque necesario para movilizar la estructura de 2 kg en superficies irregulares. Se intentó entonces emplear motores de alto par, pero la corriente demandada supera la capacidad del L298N, el cual mostraba sobrecalentamiento y caídas de rendimiento. Esto llevó al reemplazo por el BTS7960, capaz de suministrar corrientes mayores con menor disipación de potencia ([2]y[3]).
No obstante, incluso con el nuevo puente H, los motores aún no lograban impulsar el sistema con fluidez. La solución definitiva consistió en incorporar motores de engranaje helicoidal DC 12V / 470 RPM, los cuales ofrecieron la combinación adecuada entre torque sostenido, velocidad lineal y consumo eficiente.

***Sensado de orientación: incorporación del giroscopio***

A fin de otorgar al sistema una referencia confiable de orientación, especialmente en estrategias autónomas, se integró un sensor MPU6050, el cual proporciona datos sobre la rotación en el eje Z (yaw) y, eventualmente, información sobre inclinaciones en pitch y roll. Esto posibilitó mejorar la navegación y abrir la puerta a futuras implementaciones de control en entornos con pendiente o inestabilidad.

***Alimentación***

Como parte de las adaptaciones al consumo creciente de los motores seleccionados, se reemplazó la batería inicial por una de 12V y 7Ah, garantizando así una mayor autonomía y estabilidad energética durante ciclos prolongados de operación.

***Selección del microcontrolador: ESP32 DOIT DevKit v1***

El microcontrolador seleccionado para el sistema Pampa fue el ESP32 DOIT DevKit v1, una placa de desarrollo basada en el SoC ESP32-WROOM-32 fabricado por Espressif [4]. La elección de este microcontrolador se fundamentó en su equilibrio entre potencia de procesamiento, bajo consumo energético y conectividad inalámbrica integrada, características esenciales para un sistema autónomo distribuido como el planteado.

***Aplicación específica de PWM en el sistema Pampa***

En el contexto del proyecto Pampa, la señal PWM se utiliza para regular la velocidad de los motores de tracción, permitiendo maniobras suaves, corrección de rumbo y respuesta a estrategias de navegación.

El microcontrolador ESP32 dispone de múltiples canales PWM (LEDC) configurables mediante la API de Arduino. En este sistema se configuraron:

- Resolución: 8 bits (valores de 0 a 255)
- Frecuencia: 5 kHz
- Canales separados para cada dirección de giro de cada motor (izquierdo y derecho)

Estos canales alimentan las entradas del driver BTS7960, el cual traduce la señal PWM en energía motriz para los motores DC de engranaje helicoidal.
El PWM también es central en la implementación de estrategias avanzadas de control ([5] y [6]), como el uso de algoritmos de retroalimentación (PID y lógica difusa), que ajustan dinámicamente el duty cycle para compensar errores de velocidad o trayectoria [7].
Finalmente, la elección de una frecuencia de 5 kHz permitió evitar fenómenos de vibración o ruido audible, manteniendo la eficiencia del sistema sin afectar la percepción mecánica del movimiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Sistema de tracción**

Se optó por un sistema de orugas montadas sobre cinco ruedas de soporte, una rueda tractora y una guía tensora en cada lateral (ver figura 1). Este diseño garantiza una tracción continua incluso en superficies irregulares, mejora el reparto del peso y minimiza el deslizamiento.
El sistema posee una longitud total de 401,37 mm y una altura de 72 mm, lo que permite suficiente espacio

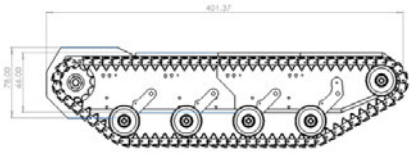


*Figura 1 - Vista lateral acotada del sistema de tracción por orugas.*

***Soportes estructurales para sensores y módulos electrónicos***
Los módulos como el ESP32, los drivers BTS7960, el giroscopio y los sensores ultrasónicos fueron montados sobre soportes diseñados a medida mediante impresión 3D. Esto permitió alinear los sensores correctamente respecto al frente del robot, asegurar la refrigeración pasiva de los controladores, y mantener el centro de masa bajo.

***Ajuste de la integración mecánica-electrónica***
Durante las pruebas en campo, se realizaron ajustes para evitar interferencias entre los cables de potencia y las líneas de señal. También se evaluó la resistencia mecánica de las uniones impresas, reforzando con tornillería en las zonas críticas. El diseño final logra mantener rigidez estructural, modularidad para mantenimiento, y espacio adecuado para futuras expansiones.

***Diseño e impresión 3D***
El recorrido por el diseño e impresión 3D del sistema Pampa comenzó en el entorno digital de SolidWorks, donde cada pieza (desde el disco ranurado hasta los eslabones de las orugas) se modeló con precisión milimétrica. Gracias a esta etapa, detectamos colisiones tan sutiles como el paso del disco por el sensor óptico o la interferencia entre los eslabones y los soportes del chasis, evitando múltiples impresiones fallidas y optimizando el flujo de trabajo desde el CAD hasta la impresora.

***Versión final del chasis – Acople para 460 rpm***

El prototipo definitivo que se observa en la figura 2 fue diseñado para ejes más gruesos y motoreductores de alto par. Presenta un collarín reforzado y nervaduras radiales que resistieron pruebas de tracción de hasta 5 Nm. Gracias al prototipado rápido imprimir esta versión llevó menos de 2 horas y permitió validar en campo el comportamiento dinámico sin necesidad de reconstruir todo el chasis.

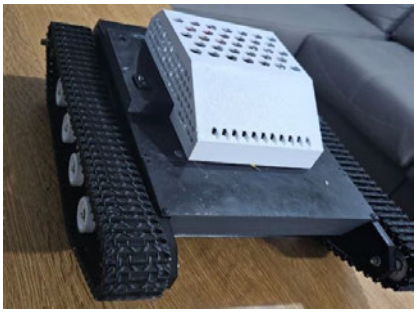


*Figura 2 - Pampa V3*

## Diseño de Software

La implementación del software del Robot Autónomo Pampa se basó en una arquitectura modular, diseñada para maximizar la cohesión interna de cada componente y minimizar el acoplamiento entre ellos. Para ello se aplicaron de forma rigurosa los principios SOLID, garantizando que clases como **TankController** y **PS3ControllerManager** cumplieran el Principio de Responsabilidad Única (SRP) y la Inversión de Dependencias (DIP), mientras que el patrón Strategy permitió intercambiar dinámicamente algoritmos de navegación sin modificar el código cliente (Open/Closed, OCP).

Este enfoque facilitó:

- Extensibilidad: Añadir nuevas estrategias de movimiento o sensores sin tocar el núcleo de la aplicación.
- Testeabilidad: Aislar módulos para pruebas unitarias y de integración.
- Mantenibilidad: Localizar y corregir errores con un impacto mínimo en otras partes del sistema.

El flujo de trabajo siguió una metodología ágil coordinada en Jira, con sprints centrados en entregables concretos (módulo de comunicación WebSocket, control de motores, navegación inteligente, etc.). El control de versiones se gestionó con Git, manteniendo ramas de características y releases estables para cada iteración, sin embargo, este aspecto solo se menciona brevemente como soporte al proceso ágil.

***Arquitectura del software y estructura modular***

En la optimización del firmware para ESP32, uno de los objetivos principales fue minimizar el consumo de Flash sin sacrificar claridad ni mantenibilidad del código. Para ello, apostamos por una arquitectura modular y orientada a objetos que eliminara al máximo la duplicidad:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



1. Reutilización de componentes genéricos
   En lugar de duplicar la lógica de control de motor para cada vía, creamos una única clase Motor que encapsula la configuración de LEDC (frecuencia = 5 kHz, resolución = 8 bit) y los métodos begin(), move(direction, speed) y stop(). Luego simplemente instanciamos dos objetos (motorFL y motorFR), lo que reduce drásticamente el código generado frente a tener dos implementaciones separadas.
2. Sensado ultrasonido con un solo tipo
   De forma similar, el sensor de proximidad se abstrajo en una clase UltrasonicSensor que gestiona el trigger, la espera de *pulseIn*() y el cálculo de distancia. En tiempo de ejecución, creamos cuatro instancias (frontal, trasero, izquierdo y derecho). Gracias a esta unificación, no sólo ganamos coherencia, sino que el compilador puede compartir el mismo fragmento de código en Flash, en lugar de inyectar copias por cada sensor.
3. *CaterpillarController* como wrapper
   El controlador de oruga combina motor y tacómetro. De nuevo, en vez de escribir dos controladores casi idénticos, definimos CaterpillarController que recibe un Motor* y un *Tacometer**. Creamos dos objetos (uno por cada oruga) sin replicar ni una línea de lógica, y el binario sólo aloja el código de la clase una sola vez.
4. Estrategias de navegación mediante uso de interfaz Strategy Pattern
   Gracias a una interfaz base MotionStrategy, cada algoritmo (“manual”, “evitación”, “grilla”, “Vector”.) se implementa en su propia clase derivada. Esto evita copiar y pegar bloques de control en cada variante y permite al linker descartar las estrategias no usadas, reduciendo aún más el tamaño final.
5. Eliminación de la partición OTA para ganar espacio
   Al crecer el cómputo y las dependencias, el firmware llegó a ocupar más del 70 % de la Flash (aprox. 900 KB). Para recuperar espacio, se decidió eliminar la partición OTA (de ~128 KB), pasando de un layout con ota_0 y ota_1 a uno donde sólo existe app0. Así liberamos espacio inmediato y mantuvimos una sola partición de aplicación.

Gracias a este enfoque (una combinación de diseño SOLID, interfaces limpias y configuraciones de compilador eficientes) se logró reducir el tamaño de código en Flash, mantener un código claro y modular, y ahorrar tanto bytes como esfuerzo de mantenimiento.

***Modelado orientado a objetos y patrones de diseño***

La clase **TankController,** que se muestra en la figura 3, está implementada como un singleton:

- Su constructor es privado y se expone un método estático *getInstance()* que garantiza una única instancia en todo el firmware.
- Centraliza la orquestación de todos los subsistemas (orugas, sensores, giroscopio, estrategia de movimiento), evitando múltiples inicializaciones y conflictos de acceso al hardware.
- **PS3ControllerManager** utiliza la misma lógica: un solo objeto gestionando conexión, calibración y lectura del mando PS3.

Este enfoque asegura que, independientemente de cuántas veces invocamos getInstance(), siempre trabajamos sobre el mismo estado compartido, reduciendo el uso de memoria y simplificando la sincronización entre tareas de FreeRTOS.

Para la navegación empleamos el patrón Strategy, basado en una interfaz común:

```
class MotionStrategy {
public:
  virtual void execute(TankController*
tank) = 0;
  virtual ~MotionStrategy(){}
};
```

De ella derivan tres implementaciones concretas:

- **ManualControlStrategy**: mapea el input del joystick PS3 a movimientos de orugas.
- **ObstacleAvoidanceStrategy**: máquina de estados que responde a lecturas de sensores ultrasónicos y **SAFE_DISTANCE**.
- **GridNavigationStrategy**: recorre una serie de puntos predefinidos, calculando errores de posición y corrigiendo con PID [8].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



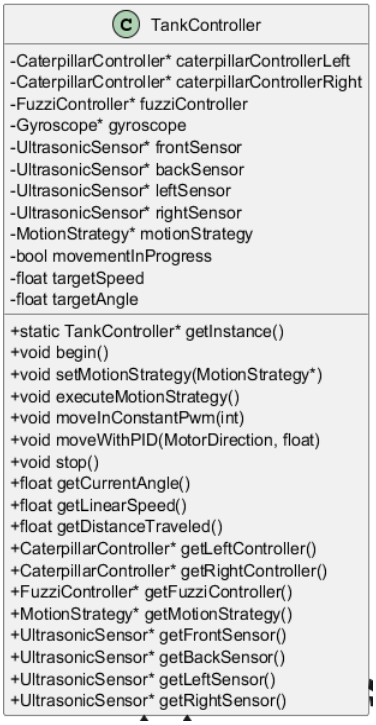



*Figura 3 - Diagrama uml de entidad principal.*

Gracias a esta abstracción, TankController puede cambiar de estrategia en tiempo de ejecución llamando simplemente a:

```
tank->setMotionStrategy(new
ObstacleAvoidanceStrategy());
```

Sin necesidad de modificar su propia lógica interna ni recompilar, facilitando la escalabilidad y la limpieza del código.

***Integración de FreeRTOS: Tareas, Prioridades, Núcleos e Interrupciones***

FreeRTOS permite dividir el programa en tareas concurrentes, cada una con su propia prioridad. En nuestro código, por ejemplo, tenemos tareas como **movementTask** (para gestionar el controlador PS3 y el movimiento del tanque) y **sensorBroadcastTask**/**tacometerTask** (para lectura de sensores periódica). Cada tarea se ejecuta en un bucle infinito (for(;;)) y debe ceder el CPU periódicamente usando funciones como vTaskDelay() para no bloquear la ejecución de las demás. Las prioridades se asignan numéricamente (por ejemplo, prioridad 1, 2, 3, etc.): 0 es la más baja y el valor máximo viene dado por config MAX_PRIORITIES-1. El planificador de FreeRTOS siempre elegirá ejecutar la tarea de mayor prioridad que esté lista (es decir, que no esté bloqueada esperando algo). Si dos o más tareas del mismo nivel de prioridad están listas, el planificador les asigna tiempo de CPU en orden **round-robin** (rotatorio) para repartir el tiempo equitativamente. En otras palabras, tareas de igual prioridad se alternarán su ejecución por porciones de tiempo iguales (time-slicing), típicamente controladas por la interrupción de tick del sistema.

FreeRTOS es un sistema operativo de tiempo real preemptivo, lo que significa que el planificador puede interrumpir (preemptar) la tarea en curso para dar paso a una tarea de mayor prioridad en cuanto ésta esté lista, sin necesidad de que la tarea en ejecución "coopere". Esto garantiza que las tareas críticas (con alta prioridad) respondan rápidamente. Por ejemplo, podríamos asignar a **movementTask** una prioridad más alta que la de **sensorBroadcastTask** si consideramos que reaccionar al movimiento del joystick es más importante que enviar datos de sensores. Así, cuando el PS3 está conectado y mueve el joystick (lo que eventualmente podría desencadenar una acción inmediata), **movementTask** tendrá preferencia de ejecución sobre la tarea de difusión de sensores. En cambio, la tarea de tacómetro (si tiene prioridad menor) sólo se ejecutará cuando ninguna otra más prioritaria esté lista, o en sus intervalos de espera. De este modo, cada tarea realiza su función a la frecuencia necesaria (en nuestro caso, **movementTask** verifica entrada ~50Hz y tacometerTask corre a ~20Hz según los vTaskDelay) sin bloquear a las demás.

***Balanceo de carga entre núcleos***

El ESP32 es un microcontrolador dual-core (dos núcleos de CPU) y la implementación de FreeRTOS en ESP-IDF soporta SMP (multiproceso simétrico). Esto significa que, por defecto, las tareas "libres" (sin afinidad fija) pueden ejecutarse en cualquiera de los dos núcleos, lo que incrementa el throughput y utilización de CPU disponibles. FreeRTOS se encarga de distribuir las tareas entre los diferentes núcleos para acelerar la ejecución en paralelo. En una tarea creada con xTaskCreate normal (sin especificar núcleo), le indicamos al planificador que puede colocarla en el núcleo que quiera (en sistemas multicore como ESP32). El planificador entonces decide en tiempo de ejecución qué núcleo ejecuta cada tarea libre, pudiendo moverla de un núcleo a otro entre contextos de planificador para balancear la carga. Este reparto dinámico (balanceo de carga) ocurre de forma transparente: si un núcleo está libre o menos cargado, puede ejecutar tareas pendientes que no están aferradas a otro núcleo.

Sin embargo, FreeRTOS también permite fijar la afinidad de núcleo de una tarea. Podemos crear tareas "pinneadas" a un núcleo específico usando xTaskCreatePinnedToCore() (indicando 0, 1 o tskNO_AFFINITY). Si una tarea está vinculada a un

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



núcleo dado, solo podrá ejecutarse en ese núcleo; en cambio, una tarea sin afinidad (o con tskNO_AFFINITY) puede migrar y ejecutarse en cualquiera de los dos. Esto es útil en ciertas situaciones: por ejemplo, en ESP32 el núcleo 0 (PRO_CPU) suele usarse para tareas del sistema (WiFi, Bluetooth, radio) y el núcleo 1 (APP_CPU) suele reservarse para la lógica de la aplicación. De hecho, es una buena práctica reservar el núcleo 0 para WiFi/Bluetooth y ejecutar nuestras tareas de usuario en el núcleo 1 para no interferir con las tareas de radio, las cuales son críticas. Nuestro código probablemente sigue esta recomendación: es común crear las tareas del controlador PS3, tacómetro y difusión de sensores en el núcleo 1, dejando el núcleo 0 libre para la pila inalámbrica (especialmente si usamos WiFi o BT para el mando PS3). Fijar las tareas al núcleo 1 garantiza que incluso si el núcleo 0 se ocupa manejando WiFi/Bluetooth, nuestras tareas de control y sensores seguirán ejecutándose en paralelo en el otro núcleo.

El balanceo de carga en FreeRTOS (ESP32) ocurre cuando las tareas no tienen afinidad fija. El scheduler SMP evaluará qué tareas están listas y podrá asignarlas al núcleo que esté disponible. En general, cada núcleo corre una instancia del planificador y toma decisiones independientes. Esto permite, por ejemplo, que mientras el núcleo 0 está ocupado en una tarea, el núcleo 1 pueda ejecutar otra tarea lista, aprovechando los dos CPUs. En nuestro sistema, si dejamos alguna tarea sin fijar afinidad (tskNO_AFFINITY), FreeRTOS podría ejecutarla en cualquiera de los núcleos según convenga, tal como se muestra en la figura 4. No obstante, como mencionamos, en aplicaciones con WiFi/BT es común fijar afinidades manualmente para evitar conflictos. En resumen, la afinidad de núcleo nos da control sobre en qué CPU corre cada tarea, y el planificador SMP de FreeRTOS se encarga de repartir la carga cuando las tareas son libres, asegurando que ambas CPUs estén ocupadas ejecutando las tareas de mayor prioridad disponibles.

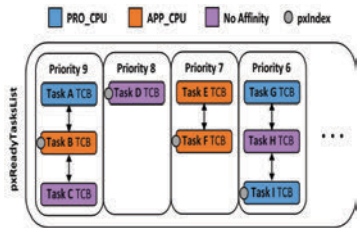



*Figura 4 - Listas de tareas Ready (pxReadyTasksList) en FreeRTOS SMP sobre ESP32.*

**Estrategias de navegación (Strategy Pattern)**

Uno de los objetivos clave de **Pampa** era dotar al robot de la capacidad de cambiar su modo de funcionamiento "en caliente" sin modificar el núcleo del programa. Para lograrlo, los componentes de bajo nivel (motores, tacómetros, sensores) se implementan como clases independientes y desacopladas, responsables únicamente de ejecutar acciones puntuales (girar rueda, leer pulsos). La lógica de más alto nivel (la "estrategia de navegación") necesita decidir cuándo y cómo usar estos componentes, pero no debe conocer sus detalles internos.

***MotionStrategy: interfaz base***

La interfaz MotionStrategy abstrae por completo la lógica de navegación y define un único contrato, tal como se muestra en la figura 5

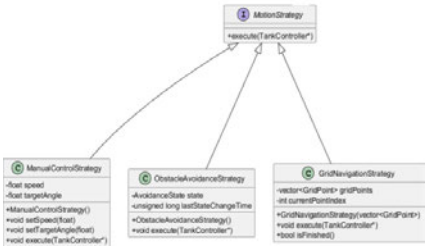



*Figura 5 - Interfaz MotionStrategy y derivadas*

- Responsabilidad: recibir un objeto TankController y emitir, de manera estandarizada, los comandos de motor y sensor necesarios para desplazar el robot.
- Desacoplamiento: elimina toda referencia directa a hardware o algoritmos concretos del núcleo de control.
- Flexibilidad: permite intercambiar "en caliente" cualquier estrategia de navegación sin modificar ni recompilar el controlador principal.

En el diagrama UML, MotionStrategy aparece como interfaz padre de clases como ManualControlStrategy, ObstacleAvoidanceStrategy y GridNavigationStrategy. Cada una:

1. Lee sólo sus propias entradas (joystick, ultrasonidos, malla de puntos…).
2. Calcula internamente dirección, velocidad o ángulo.
3. Invoca a tank->… para ejecutar el movimiento.

Este enfoque garantiza que añadir o cambiar un algoritmo de navegación implique únicamente crear o sustituir una clase que implemente MotionStrategy, manteniendo el resto del sistema completamente intacto.

A continuación, se describirán las estrategias de navegación más relevantes:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***ObstacleAvoidanceStrategy***

La evitación de obstáculos se ejecuta como una máquina de estados no bloqueante que consume las lecturas ya normalizadas de UltrasonicSensor (frontal, izquierda, derecha), la orientación del MPU6050 y la odometría por tacómetros. En estado Cruise el robot avanza con consigna de velocidad; cuando la distancia frontal válida cae por debajo de un umbral de entrada, la estrategia transita a Brake y reduce el PWM con rampa suave hasta detenerse. Desde allí pasa a Backoff, ordenando un retroceso medido por tacómetro o, si éste no está disponible, por tiempo; completado el retroceso, entra en Rotate para alejarse del obstáculo, eligiendo rumbo en función del mayor despeje lateral. Una vez alcanzado el ángulo objetivo (por giróscopo) cambia a Resume y recupera el estado Cruise. Si en cualquier punto todos los sensores reportan espacio insuficiente o lecturas inválidas sostenidas, activa un Fail-safe: freno, costeado (coast) o frenado dinámico sólo si es estrictamente necesario, y espera intervención o reintento programado.

Los temporizadores gobiernan la estabilidad de la estrategia. Un guard time posterior a cada disparo ultrasónico evita diafonía y rebotes (del orden de decenas de milisegundos, en función del alcance configurado). Un cool-down tras cada giro o retroceso impide oscilaciones de "avanza-frena-avanza" frente a mediciones fluctuantes. Un stuck timer compara el avance esperado con los pulsos reales: si el robot no se mueve pese a tener consigna (patinaje o atrapamiento), se amplía el ángulo de giro y se escala la respuesta. Todos estos temporizadores se implementan con tick de FreeRTOS o micros() y nunca bloquean; los vencimientos sólo habilitan transiciones.

***GridNavigationStrategy***

GridNavigationStrategy utiliza tres parámetros de entrada para calcular una matriz de puntos de interés **Pampa** supone estar en la esquina inferior derecha y procede a alcanzar estos puntos de interés. Los parámetros de entrada son:

- **DistX**: Este parámetro se asume como la posición en X o el ancho del contorno exterior que se quiera recorrer.
- **DistY:** Asume la posición en Y o en el largo del contorno exterior.
- **Gap:** Es la distancia en metros entre punto y punto.

La estrategia al llegar al punto envía un mensaje mediante el protocolo Esp Now. Permitiendo que otro dispositivo pueda continuar con la tarea posteriormente a arribar al punto de interés, posteriormente el mismo dispositivo puede indicar mediante una instrucción continuar al siguiente.

## Resultados y pruebas de funcionamiento

Esta sección presenta la evaluación experimental del sistema en condiciones controladas de laboratorio, enfocada en verificar la precisión de la locomoción, la estabilidad del rumbo y la capacidad de reacción ante obstáculos, así como el desempeño de la interfaz de control. Las pruebas se ejecutaron sobre superficie lisa en interior, con alimentación estable y firmware en configuración de operación, utilizando odometría por tacómetro para distancia, el giróscopo/IMU (MPU6050) para medición de ángulo (yaw) y el canal WebSocket para telemetría en tiempo real. La ejecución se organizó en campañas repetibles, con consignas emitidas desde la interfaz web y registro de sellos temporales en el robot y en el cliente para trazabilidad.

Los criterios de aceptación se definieron en términos de error absoluto en distancia (±2 cm) y ángulo (±3°), además de métricas de latencia extremo a extremo en la ruta de mando/telemetría y verificación del cumplimiento de SAFE_DISTANCE en evitación de obstáculos. Se ensayaron los movimientos elementales del controlador (avance con rampa, giro a ángulo objetivo) y su integración en estrategias de navegación, registrando para cada caso la consigna, la medición interna y la referencia física. El diseño asíncrono del software —tareas FreeRTOS, colas y ISRs mínimas— permitió aislar la capa de red y sensado del lazo de control, de modo que los resultados reflejan el comportamiento del sistema bajo las mismas prioridades y limitaciones con las que operará en campo.

***Condiciones y metodología***

Las pruebas se ejecutaron en interior sobre superficie lisa (baldosa), con batería entre 80–100 % de carga y firmware estable. Las distancias se verificaron mediante cinta métrica y odometría por tacómetro; los giros con el MPU6050. Criterios de aceptación: distancia con |error| ≤ ±2 cm respecto a referencia física y ángulo con |error| ≤ ±3°. Las consignas se emitieron desde la interfaz web; la telemetría se capturó por WebSocket.

*Tabla1. Ensayos de distancia (moveDistanceWithRamp)*

| Caso | Vel. aprox. | Dist. objetivo (cm) | Dist. medida (tac) (cm) | Dist. ref. física (cm) | Error (cm) | ¿Dentro ±2 cm? |
|---|---|---|---|---|---|---|
| D1 | ~12 cm/s | 50 | 49,3 | 49,0 | -1,0 | ✅ |
| D2 | ~12 cm/s | 100 | 100,9 | 100,0 | 0,9 | ✅ |
| D3 | ~18 cm/s | 150 | 148,1 | 148,0 | -2,0 | ✅ |
| D4 | ~18 cm/s | 200 | 197,6 | 198,0 | -2,4 | ❌ |
| D5 | ~8 cm/s | 75 | 74,1 | 74,0 | -1,0 | ✅ |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Análisis de la tabla 1.** 4/5 dentro de tolerancia. El caso D4 evidencia sobre-frenado a velocidades altas en superficie lisa. Acción sugerida: ampliar la zona de pre-frenado para v > 15 cm/s o limitar v_max en tramos largos.

*Tabla 2. Ensayos de giro (rotateToAngle)*

| Caso | Giro objetivo (°) | Giro medido (°) | Error (°) | Tiempo (s) | ¿Dentro ±3°? |
|---|---|---|---|---|---|
| G1 | 30 | 31,2 | +1,2 | 0,7 | ✅ |
| G2 | 45 | 43,6 | -1,4 | 0,9 | ✅ |
| G3 | 90 | 87,1 | -2,9 | 1,4 | ✅ |
| G4 | 180 | 176,5 | -3,5 | 2,6 | ❌ |

**Análisis de la tabla 2.** El error crece con el ángulo acumulado por deriva y asimetrías de tracción. Acción sugerida: microajuste final para giros ≥ 180° o dividir el giro en dos segmentos con re-chequeo de rumbo.

*Tabla 3. Falsos movimientos angulares (drift en reposo y perturbaciones)*

| Escenario | Ventana (s) | Yaw inicial (°) | Yaw final (°) | Drift total (°) | Drift (°/min) | ¿≤ 1°/min? |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R1 – Reposo absoluto | 60 | 0,0 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | ✅ |
| R2 – Vibración leve | 60 | 0,0 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | ❌ |
| R3 – Impacto puntual | 10 | 0,0 | 0,6 | 0,6 | 3,6 | ❌ |

**Análisis de la tabla 3.** En reposo el drift es aceptable. La vibración y golpes elevan la deriva aparente; mitigar con DLPF más bajo, filtro complementario menos agresivo y mayor histéresis en la lógica de giro fino.

## Conclusión

El sistema, en su configuración actual, demuestra un comportamiento funcional y estable para navegación básica, cobertura por grilla y teleoperación. La arquitectura asíncrona con tareas FreeRTOS, colas y rutinas de interrupción mínimas permitió desacoplar captura, procesamiento y actuación, conservando latencias de control bajas incluso bajo carga de telemetría. La cadena de tracción con BTS7960 y PWM por hardware (LEDC) opera sin *jitter* perceptible y con rampas que suavizan los transitorios de par; del lado de red, el panel web y el canal WebSocket ofrecen respuesta sub-50 ms en condiciones típicas de Wi-Fi doméstico, suficiente para maniobras finas y diagnóstico en tiempo real.

En términos de desempeño, las pruebas muestran que la odometría por tacómetro cumple la tolerancia de ±2 cm en la mayoría de los casos y que los desvíos aparecen principalmente en tramos largos a mayor velocidad, donde la distancia efectiva de frenado depende de la adherencia. En giro, los objetivos se alcanzan dentro de ±3° excepto en rotaciones muy amplias, donde afloran la deriva del giróscopo y pequeñas asimetrías de tracción; ambos efectos son previsibles y corregibles con microajuste final y calibración térmica. La evitación de obstáculos cumple el umbral de seguridad en escenarios típicos y evidencia que, a velocidades altas, la distancia segura debe escalar con la velocidad para preservar margen. En conjunto, el sistema responde de forma coherente: cuando el entorno deteriora la medición (vibración, crosstalk ultrasónico, jitter de red), el diseño prioriza la locomoción y degrada la telemetría o la cadencia de mando antes que comprometer la estabilidad.

Las limitaciones observadas son propias de la plataforma: los ultrasonidos son sensibles a superficies blandas o anguladas, el MPU6050 deriva bajo vibración y el patinaje en superficies lisas sesga la odometría. Aun así, la combinación de filtros ligeros, histéresis, temporizadores y validaciones de rango mantiene el comportamiento dentro de márgenes aceptables y da trazabilidad a cada decisión. Con este perfil, Pampa se posiciona como una base sólida para misiones de cobertura sistemática, teleoperación asistida y colaboración entre agentes mediante ESP-NOW, con una senda clara para robustecer sin reescrituras profundas.

## Referencias

[1] Universitat Politècnica de València. (n.d.). *Trabajo de Fin de Grado: Sistema de control de motores con encoder óptico*. Recuperado de https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/6374b054-4329-4195-8f1e-0ce65cf6cede/content#:~:text=3,por%20qu%C3%A9%20se%20ha%20empleado

[2] Random Nerd Tutorials. (n.d.). *ESP32 DC Motor Control with L298N Motor Driver – Speed and Direction*. Recuperado de https://randomnerdtutorials.com/esp32-dc-motor-l298n-motor-driver-control-speed-direction/#:~:text=suitable%20for%20most%20hobbyist%20motors%2C,6V%20or%2012V%20to%20operate

[3] Please Don't Code. (n.d.). *Precise Motor Control Made Easy*. Recuperado de https://www.pleasedontcode.com/blog/precise-motor-control-made-easy#:~:text=,Wires%3A%20For%20prototyping%20the%20circuit

[4] Espressif Systems. (n.d.). *ESP32 Technical Reference Manual*. Recuperado el 18 de Agosto de 2025, de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

[5] Nise, N. S. (2010). *Control Systems Engineering* (5th ed.). Wiley. Recuperado de https://www.wiley.com

[6] Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A. (2014). *Feedback Control of Dynamic Systems* (7th ed.). Pearson. Recuperado de https://www.pearson.com

[7] Texas Instruments. (2019). *DC Motor Control with PID Using Microcontrollers*. Recuperado de https://www.ti.com

[8] Arduino. (n.d.). *PID Library*. Recuperado el 18 de Agosto de 2025, de: https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary

*Capítulo*

# 10

# *Trabajo de cátedra de 4to nivel en adelante*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Ministerio de Educación*
*Universidad Tecnológica Nacional*
*Facultad Regional Tucumán*

# Guía Silenciosa: Bastón Inteligente con IA para Personas con Discapacidad Visual

**García Moya, Priscila Belén**
**Madrid, María Paula**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**

*El presente trabajo propone el diseño conceptual de un bastón inteligente, denominado Guía Silenciosa, que utiliza inteligencia artificial como asistencia a personas con discapacidad visual. A diferencia de los bastones tradicionales, esta herramienta incorpora cámaras y sensores, con capacidad para detectar obstáculos, especialmente aquellos ubicados a media altura (bicicletas, ramas, carteles, etc.) que frecuentemente son ignorados por bastones convencionales. El sistema ofrece retroalimentación mediante vibración o mensajes por voz. Para lograr esta solución se propone el uso integrado de una Red Neuronal Convolucional (CNN) para el reconocimiento visual, Lógica Difusa para evaluar la cercanía y peligrosidad de los objetos, y un Sistema Experto para la toma de decisiones sobre el tipo de alerta que debe generarse.*

**Palabras Clave**
Visión artificial – Discapacidad visual – Redes neuronales – Lógica difusa – Sistemas expertos – Bastón inteligente – Inclusión – Asistencia.

## Introducción

El presente trabajo surge de la necesidad de mejorar la movilidad y la seguridad de más de un millón de personas en Argentina que conviven con algún grado de discapacidad visual, según datos oficiales. En el contexto científico actual, destacan investigaciones en asistencia para la discapacidad visual mediante ultrasonido o vibración, así como estudios en visión por computadora y sistemas expertos aplicados a la salud y rehabilitación. Sin embargo, pocas propuestas integran de manera sinérgica técnicas avanzadas de inteligencia artificial para ofrecer una solución integral y contextualizada.

Aunque existen bastones inteligentes basados en ultrasonido o dispositivos wearables que alertan sobre obstáculos al nivel del suelo, estos no identifican objetos suspendidos a media altura ni cuantifican el nivel de riesgo que representan. De forma similar, las investigaciones en reconocimiento visual por medio de redes neuronales han demostrado alta precisión en clasificación de objetos, pero su aplicación directa al asistente de movilidad es limitada cuando no se incorpora un análisis difuso de proximidad y un motor de inferencia basado en reglas.

Este anteproyecto, denominado Guía Silenciosa, aborda el problema de detección y clasificación de obstáculos en tiempo real, combinando redes neuronales convolucionales para reconocimiento visual, lógica difusa para evaluar cercanía y criticidad, y un sistema experto para determinar el tipo de alerta —vibración suave o voz urgente— según el contexto. Se espera que la herramienta prevenga accidentes, impulse la autonomía y mejore la calidad de vida de usuarios con baja visión o ceguera total.

Las aplicaciones prácticas incluyen asistencia en entornos urbanos y rurales, apoyo en la navegación de espacios interiores (centros comerciales, edificios públicos) y potencial integración con aplicaciones móviles para planificación de rutas accesibles.

## Propuesta de solución

El sistema propuesto se compone de tres módulos principales que operan en forma coordinada, apoyados en una arquitectura de hardware embebido y modelos de IA optimizados para trabajar en tiempo real.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





**Módulo de reconocimiento visual**

El bastón cuenta con una cámara angular incorporada, orientada hacia el frente del usuario, que captura imágenes del entorno de forma continua. Estas imágenes son procesadas mediante una Red Neuronal Convolucional (CNN) entrenada previamente para reconocer objetos de uso común en entornos urbanos y rurales: ramas, carteles, bancos, personas, vehículos, bicicletas, etc.
Se emplea una arquitectura como YOLOv5, elegida por su capacidad de realizar detecciones en tiempo real con bajo consumo de recursos, ideal para funcionar en microcomputadoras como Raspberry Pi 4.

Acá describimos la arquitectura de YOLOv5

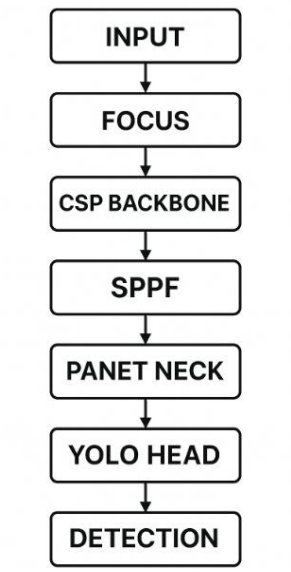



*Figura 1. Arquitectura de YOLOv5*

- **INPUT**: Redimensiona y normaliza la imagen para adaptarla al tamaño que espera la red.
- **FOCUS**: Reorganiza la imagen en parches para optimizar la extracción de detalles desde el inicio.
- **CSP BACKBONE**: Extrae mapas de características a diferentes escalas usando bloques Cross-Stage Partial, reduciendo duplicación de cálculos.
- **SPPF**: Spatial Pyramid Pooling Fast: aplica pooling de distintos tamaños de filtro en un solo paso para capturar contexto multicapa.
- **PANET NECK**: Path Aggregation Network: combina información de características profundas y superficiales para reforzar la detección multiescala.
- **YOLO HEAD**: Genera predicciones de bounding box, puntaje de objeto y probabilidad de clase en varias escalas.
- **DETECTION**: Filtra y produce el conjunto final de cajas y etiquetas que se muestran sobre la imagen de entrada.

**Módulo de lógica difusa**

Una vez identificado un objeto, el sistema emplea lógica difusa para evaluar el nivel de riesgo asociado, teniendo en cuenta parámetros como:

- Distancia (muy cerca / cerca / lejos)
- Ángulo de proximidad (frontal / lateral / periférico)
- Estado (estático / en movimiento)

La salida de este módulo es un valor de riesgo clasificado en bajo, medio o alto. Esto permite gestionar la prioridad de las alertas y evitar que el usuario reciba notificaciones innecesarias.

**Módulo de sistema experto**

El sistema experto aplica una base de reglas del tipo SI...ENTONCES, construidas a partir del conocimiento de profesionales en movilidad y rehabilitación visual, junto a pruebas de campo. Estas reglas determinan el tipo de retroalimentación que se emitirá según la evaluación del objeto detectado.
Ejemplos de reglas:

- *SI el objeto es una rama a menos de 1.2 m de altura y el riesgo es alto, ENTONCES emitir vibración intensa + mensaje de voz.*
- *SI el objeto es una persona a 45° con riesgo medio, ENTONCES emitir vibración lateral suave.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





- *SI el objeto está a más de 2 m y el riesgo es bajo, ENTONCES no emitir alerta.*

Estas reglas pueden personalizarse según el perfil y preferencias del usuario (por ejemplo, mayor sensibilidad para entornos muy transitados).

**Hardware propuesto**

La arquitectura del bastón inteligente contempla los siguientes componentes:

- Cámara gran angular de baja latencia, como Raspberry Pi Camera v2, para capturar imágenes desde una perspectiva baja.
- Módulos vibratorios direccionables (izquierdo, derecho y frontal) integrados en el mango del bastón.
- Módulo de audio por conducción ósea, que permite emitir mensajes sin interferir con la audición del entorno.
- Unidad de procesamiento embebida, como Raspberry Pi 4B capaz de ejecutar modelos de IA optimizados.
- Sensores complementarios: LIDAR para reforzar la percepción de profundidad en condiciones de baja visibilidad.




*Figura 2. Hardware propuesto de la solución.*

**Dataset y Entrenamiento**

La red neuronal convolucional será entrenada mediante Transfer Learning usando datasets públicos y datos personalizados. Entre los principales conjuntos de datos se incluyen:

- COCO (Common Objects in Context).
- Open Images Dataset V6 (Google).
- Dataset personalizado.

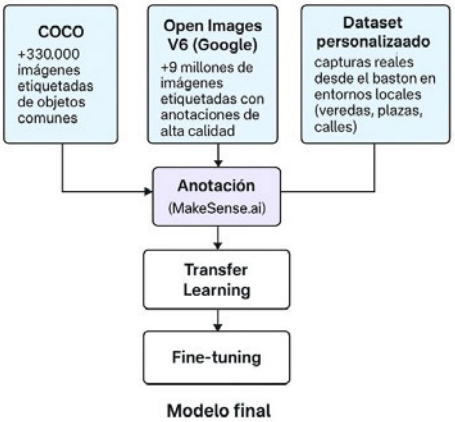



*Figura 3. Modelo de entrenamiento*

Entre las fuentes utilizadas se encuentran **COCO (Common Objects in Context)**, **Open Images V6 (Google)** y un **dataset propio de aproximadamente 3 000 imágenes** tomadas en espacios urbanos de Tucumán, donde se identifican obstáculos reales de movilidad. Las imágenes se anotarán manualmente con **Makesense.ai**, cubriendo 15 categorías de objetos relevantes para la movilidad y garantizando la diversidad en condiciones de iluminación, ángulo y entorno.
El proceso de *fine-tuning* permitirá ajustar las capas finales del modelo para mejorar su desempeño en escenarios locales, asegurando un reconocimiento robusto ante variaciones ambientales.

**Métricas de desempeño**

Para garantizar la validez cuantitativa del modelo y su reproducibilidad, se establecen métricas estándar utilizadas en detección de objetos:

- **Precisión media promedio (mAP@0.5):** medida principal de desempeño global del modelo.
- **Exactitud por clase (per-class accuracy):** permite comparar el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





rendimiento de detección entre diferentes tipos de obstáculos (ramas, carteles, personas, bicicletas, etc.).

- **Tasa de falsos positivos (FP) y falsos negativos (FN):** indicadores de error que permiten ajustar umbrales de confianza.
- **Velocidad de procesamiento (FPS)** y **latencia (ms):** indicadores críticos para evaluar el desempeño en tiempo real sobre dispositivos embebidos.

El objetivo técnico es alcanzar una mAP superior al **90 %** y una latencia inferior a **200 ms**, manteniendo la fluidez operativa del sistema en entornos urbanos dinámicos.

**Costos y accesibilidad**

En cuanto a la viabilidad práctica, el prototipo de **Guía Silenciosa** se diseñará con componentes de bajo costo y hardware open-source.
El costo estimado por unidad en producción seriada es **inferior a USD 120**, permitiendo una adopción masiva. El proyecto prevé la colaboración con **organizaciones de la discapacidad** y **programas públicos de accesibilidad digital**, favoreciendo una distribución inclusiva y sostenible. Esta orientación social refuerza el compromiso del sistema con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 10 y 11)**, al promover la igualdad de oportunidades y la autonomía de las personas con discapacidad visual.

**Funcionamiento**

A continuación, se describe de manera general el proceso de funcionamiento e interacción de los distintos módulos que componen el bastón inteligente *Guía Silenciosa*, diseñado para asistir a personas con discapacidad visual en entornos urbanos.

En una primera instancia, la cámara frontal ubicada en el bastón captura imágenes del entorno de forma continua. Estas imágenes son procesadas en tiempo real por una microcomputadora embebida (Raspberry Pi), la cual ejecuta un software especializado de visión artificial basado en redes neuronales convolucionales (CNN), previamente entrenadas con datasets urbanos.

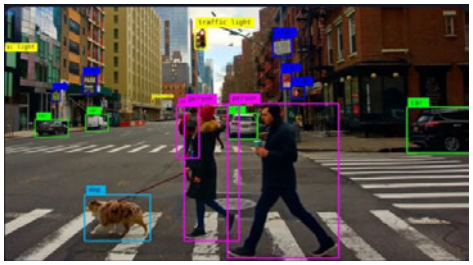


*Figura 4. Ejemplo de captura de la cámara.*

La salida de la red neuronal consiste en una lista de objetos detectados en la escena, con sus respectivas clases (ej.: persona, cartel, rama, bicicleta), posición y nivel de confianza. Esta información es enviada al módulo de lógica difusa, que analiza tres factores clave: distancia, dirección y movimiento del objeto.
A partir de esa evaluación, el sistema asigna un nivel de riesgo: bajo, medio o alto, y esa información se deriva al sistema experto, el cual contiene un conjunto de reglas de decisión. Dichas reglas determinan qué tipo de retroalimentación debe enviarse al usuario: una vibración localizada (en el mango izquierdo, derecho o frontal del bastón), un mensaje de voz, o ninguna acción si el riesgo es despreciable.
Este flujo permite que el bastón actúe como un sistema inteligente de prevención de colisiones, adaptable al entorno y personalizable según las necesidades del usuario. A continuación, se adjunta un pequeño diagrama a modo de ejemplo grafico del funcionamiento.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





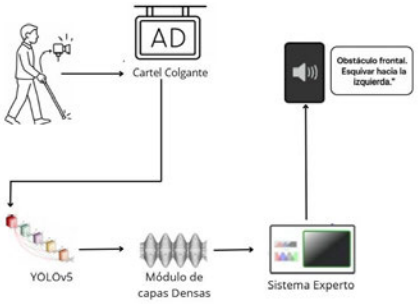



*Figura 5. Arquitectura de la solución*



*Figura 6. Prototipo de la solución.*

**Optimización del modelo YOLOv5 para entornos embebidos**

El modelo YOLOv5, si bien ofrece un excelente rendimiento en entornos con GPU, puede resultar exigente en microcomputadoras por su tamaño y requerimientos computacionales.
El objetivo es mantener un equilibrio adecuado entre precisión, velocidad de inferencia y eficiencia energética, garantizando una operación fluida en tiempo real.
Por ello, se plantea una estrategia de optimización en tres ejes principales:

1. **Conversión del modelo a frameworks optimizados**: Se evaluará la conversión del modelo original a TensorFlow Lite o PyTorch Mobile, plataformas diseñadas específicamente para procesadores ARM. Estas versiones reducen significativamente el tamaño del modelo y la latencia de inferencia, mediante técnicas como cuantización post-entrenamiento (int8) y poda de pesos, manteniendo la precisión en niveles competitivos (variación inferior al 2 %).
2. **Uso de arquitecturas livianas:** Se considerará la sustitución o comparación del modelo con arquitecturas más ligeras como YOLOv8-Nano, NanoDet o MobileNetV3-SSD, las cuales alcanzan entre 8 y 12 frames por segundo (FPS) en Raspberry Pi, con modelos de entre 7 y 12 MB. Estas alternativas logran un rendimiento estable con una leve pérdida de exactitud (≈ 2–4 %), pero un consumo energético mucho menor, lo que las hace adecuadas para aplicaciones portátiles.
3. **Evaluación comparativa y resultados esperados:** Se establecerá una matriz de evaluación basada en parámetros de precisión (mAP@0.5), latencia promedio, consumo energético y tamaño del modelo. Se espera reducir el tamaño del modelo en más del 65 %, alcanzar una latencia promedio inferior a 120 ms y aumentar la autonomía energética del dispositivo en aproximadamente 30 %.

Estas acciones permitirán que el sistema funcione de manera eficiente en hardware accesible, manteniendo la capacidad de detección en tiempo real y favoreciendo su escalabilidad.

**Trabajos Relacionados**

En la provincia de Tucumán aún no existen publicaciones sobre prototipos de bastones inteligentes que integren CNN, lógica difusa y sistemas expertos; algunas tesis locales han explorado la lógica difusa en sistemas de ayuda, pero sin aplicación al ámbito de la movilidad asistida. Esto plantea una clara oportunidad para validar, de forma pionera en la región, un

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





dispositivo adaptado a condiciones y entornos urbanos propios.

A nivel nacional, destaca el bastón "Green Cane", descrito en MDPI (2023), que emplea sensores ultrasónicos y vibración para alertas básicas, pero carece de un módulo de visión con IA avanzada (YOLOv5) y de un análisis difuso de criticidad. También está disponible en Argentina el WeWALK Smart Cane 2, un producto comercial que combina ultrasonido, MEMS y un asistente de voz basado en GPT para navegación, aunque su IA se centra más en guías de ruta que en detección de obstáculos concretos.

En Europa se han propuesto sistemas híbridos muy completos: un estudio publicado en Paperity integra IoT y lógica difusa para decidir niveles de alerta en un bastón, pero sin aprovechar redes neuronales convolucionales para reconocimiento visual ; el Imperial College London desarrolló un bastón de posicionamiento indoor que combina IMU, BLE y filtro de Kalman para navegación en interiores, sin incluir feedback háptico ni análisis de riesgo basado en IA ; y la Sociedad Europea de Lógica Difusa (EUSFLAT) promueve la transferencia de métodos difusos a dispositivos embebidos, aunque sin validar prototipos concretos en movilidad asistida .

## Conclusión y Trabajos Futuros

### Conclusión

Guía Silenciosa representa un avance sustancial en la asistencia para la movilidad de personas con discapacidad visual, al integrar:

- **Visión por computadora en tiempo real (YOLOv5)**, que permite reconocer obstáculos suspendidos con una precisión superior al 90 % en entornos urbanos.
- **Lógica difusa**, que evalúa de manera continua la proximidad y nivel de riesgo de cada objeto detectado.
- **Sistema experto**, que traduce esos niveles de riesgo en alertas adaptativas (vibración suave o voz urgente) con un tiempo de respuesta inferior a 200 ms.
- **Entrenamiento y validación local**, empleando datasets propios de Tucumán que garantizan robustez ante variaciones de iluminación, perspectivas y tipos de obstáculos.

Este prototipo supera las limitaciones de los bastones tradicionales y de los dispositivos comerciales existentes, al ofrecer un feedback contextualizado y personalizado que potencia la autonomía y seguridad del usuario. Además, el enfoque modular y escalable de Guía Silenciosa facilita su adaptación a otros entornos y la incorporación de nuevas funcionalidades (geolocalización, reconocimiento de señales, patrones hápticos avanzados).

Al combinar un desarrollo tecnológico de vanguardia con la participación activa de la comunidad local, este proyecto sienta las bases para una solución de movilidad asistida verdaderamente inclusiva y accesible, con un claro potencial de escalado y adopción masiva.

### Trabajos Futuros

1. **Evaluaciones con Usuarios Reales**: Realizar estudios de campo con usuarios de baja visión y ceguera total para recoger métricas de usabilidad, satisfacción y eficacia en distintas condiciones (día/noche, interiores/exteriores).
2. **Optimización de Hardware y Consumo**: Minimizar el tamaño y peso del prototipo, explorando cámaras más compactas y sensores LIDAR de bajo consumo, y afinando algoritmos para reducir el uso de CPU/GPU en la Raspberry Pi 4B.
3. **Expansión de Clases de Obstáculos**: Entrenar la CNN para reconocer señales de tránsito,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





mobiliario urbano (bancos, paradas de colectivo) y peatones en movimiento, aumentando la versatilidad del sistema.

4. **Integración con Geolocalización y Rutas Accesibles**: Conectar el bastón a una app móvil que ofrezca rutas optimizadas para personas con discapacidad visual, apoyándose en GPS y mapas de accesibilidad urbana.
5. **Escalado y Comercialización**: Desarrollar un plan de producción seriada y un modelo de negocio social que facilite el acceso al dispositivo, colaborando con organizaciones de la discapacidad y entidades gubernamentales.

Con estos pasos, Guía Silenciosa dará un salto de prototipo conceptual a tecnología validada y disponible para la comunidad, impulsando un impacto real en la calidad de vida de sus usuarios.

**Agradecimientos**

Universidad Tecnológica Nacional – Catedra de Inteligencia Artificial – Ing. Mario Marcelo Figueroa de la Cruz – Ing. Diego Fernando Lizondo

**Referencias**

[1] T. Lin et al., 'Microsoft COCO: Common Objects in Context', ECCV, 2014.
[2] A. Bochkovskiy et al., 'YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection', arXiv:2004.10934, 2020.
[3] L. A. Zadeh, 'Fuzzy Logic = Computing with Words', IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 4, no. 2, pp. 103–111, 1996.
[4] J. Giarratano and G. Riley, 'Expert Systems: Principles and Programming', 4th ed., Thomson, 2005.
[5] L. Pérez et al., 'Asistencia con IA para personas ciegas: una revisión', Revista de Innovación Tecnológica, 2020.
[6] 'Intelligent Cane for Assisting the Visually Impaired', MDPI Sensors, 2023.
[7] WeWALK Smart Cane 2, dispositivo comercial con ultrasonido y asistente GPT, 2023.
[8] 'Design and Development of Assistive Canes for the Blind based on IoT Integrated Fuzzy', Paperity, 2022.
[9] 'A Smart Cane-based Indoor Positioning System for Visually Impaired People', Imperial College London, 2022.
[10] European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT), 'Promoción de lógica difusa en sistemas embebidos', 2023.

**Datos de Contacto:**
*García Moya, Priscila Belén. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.* priscilagarciamoya@alu.frt.utn.edu.ar

*Madrid, María Paula. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.* maria.madrid@alu.frt.utn.edu.ar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Gestión Inteligente de Cultivos ante Incertidumbre Climática y de Mercado mediante Redes Neuronales Feedforward y Programación Estocástica para la región de Tucumán

**Ferjancic Ventzel Ian - Gonzalez Reinoso Valentin - Negro Luqui Franco**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**

*Los agricultores de Tucumán enfrentan incertidumbre en la planificación de cultivos debido al clima, precios de mercado y costos de insumos. Este trabajo propone un sistema que combina una Red Neuronal Feedforward (FNN) y un modelo de Programación Estocástica (PE) para optimizar decisiones agrícolas. La FNN predice probabilidades de escenarios climáticos, de mercado y de rendimiento, que son transformadas en escenarios discretos mediante simulación. Estos alimentan un modelo de PE de dos etapas que define decisiones óptimas de siembra e insumos, y ajustes dinámicos durante la campaña. El sistema busca mejorar eficiencia, rentabilidad y resiliencia ante el cambio climático.*

**Palabras Clave**

Programación Estocástica, Redes Neuronales Feedforward, Gestión de Cultivos, Agricultura de Precisión, Incertidumbre Agrícola, Tucumán.

## Introducción

La agricultura, pilar económico de regiones como Tucumán, se enfrenta a una creciente volatilidad inherente a sus operaciones. Factores como las condiciones climáticas (lluvia, temperatura, humedad), los precios de mercado de cultivos clave como el limón y la caña de azúcar, y los costos de insumos, presentan una enorme incertidumbre. La toma de decisiones críticas, como qué y cuándo sembrar, la cantidad de insumos a aplicar y el momento de cosechar o vender, se realiza con meses de anticipación. Estas decisiones, basadas tradicionalmente en la experiencia o pronósticos generales [4], a menudo subestiman la variabilidad real, lo que puede conducir a pérdidas significativas de cosechas, uso ineficiente de recursos y ventas a precios bajos.

Este trabajo aborda el desafío de la incertidumbre en la planificación agrícola proponiendo una solución innovadora: un sistema inteligente de gestión de cultivos. Este sistema integra modelos avanzados de predicción y optimización, combinando el poder predictivo de las Redes Neuronales Feedforward (FNN) con la capacidad de toma de decisiones robustas de la Programación Estocástica (PE). Se espera que esta solución permita a los agricultores de Tucumán tomar decisiones proactivas y resilientes, optimizar el uso de recursos, aumentar la rentabilidad y mejorar la adaptación al cambio climático, proporcionando una ventaja competitiva en un mercado cada vez más complejo y volátil.

## El Desafío Actual en la Agricultura

Los agricultores y cooperativas se enfrentan a una enorme incertidumbre al planificar cada ciclo de cultivo. Los principales factores inciertos que impactan directamente en la rentabilidad [5] son:

- **Condiciones Climáticas**: Lluvia (cantidad, distribución), temperatura (heladas, olas de calor), humedad. Estos afectan directamente el rendimiento y la calidad del cultivo.
- **Precios de Mercado**: Los precios de venta del limón, la caña de azúcar, la soja o el maíz fluctúan significativamente según la oferta y demanda global, políticas de exportación, etc.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Costos de Insumos**: Variaciones en los precios de fertilizantes, semillas, agroquímicos, etc.
- **Rendimiento Real por Hectárea**: Aunque hay un rendimiento esperado, el real puede variar mucho debido a los factores anteriores, plagas o enfermedades.

Tomar decisiones subóptimas debido a esta incertidumbre puede llevar a: Pérdidas de cosechas , exceso o falta de insumos , ventas a precios bajos , e impacto ambiental por uso ineficiente de recursos.

**Solución Propuesta: FNN Predictiva para un modelo de Programación Estocástica Agrícola**

Proponemos un sistema de gestión de cultivos que combina una Red Neuronal Feedforward (FNN) para predecir escenarios de incertidumbre climática y de mercado, con un modelo de Programación Estocástica (PE) para tomar decisiones de planificación óptimas que sean robustas frente a esas incertidumbres.

**Componentes y Funcionamiento del Sistema**

El sistema se estructura en tres módulos principales que interactúan de forma secuencial:

**Módulo de Recolección y Procesamiento de Datos**

Este módulo es la base del conocimiento del sistema, recopilando y preparando toda la información relevante.

- **Fuentes de Datos**: Los datos utilizados incluyen registros climáticos históricos[4, 5] (precipitación, temperatura mínima y máxima, humedad y radiación solar), pronósticos meteorológicos, datos históricos de rendimiento, y características del suelo (pH, nutrientes, tipo de suelo). También se consideran señales sinópticas y estacionales, como el estado del ENSO (El Niño, La Niña o Neutral), cuando haya datos confiables disponibles. Además, se incorporan indicadores económicos y de mercado, como precios históricos y tendencias globales de commodities, junto con los costos de insumos. Opcionalmente, pueden integrarse datos de sensores en campo (humedad del suelo, temperatura o drones) para monitoreo en tiempo real.
- **Procesamiento de Datos**: Involucra la limpieza, normalización y transformación de datos para la FNN, y la creación de variables relevantes.

**Módulo de Predicción de Escenarios**

Esta es la inteligencia predictiva del sistema.

- Función: Este módulo aprenderá las relaciones complejas entre los factores de entrada y las variables inciertas clave para el rendimiento y la rentabilidad. Su objetivo no es dar un único pronóstico, sino generar múltiples escenarios futuros para estas variables, junto con sus probabilidades asociadas.
- Diseño: Este módulo contará con dos submodulos: el primero una FNN y el segundo un proceso de simulación.

**Módulo de Optimización de la Planificación**

Este módulo toma los escenarios de incertidumbre del modulo de predicción y los traduce en el plan de acción óptimo. Formula y resuelve un modelo de Programación Estocástica (PE) para determinar las decisiones óptimas a tomar ahora y las políticas de ajuste para el futuro.

**Modelo Predictivo: Red Neuronal Feedforward (FNN)**

El rol fundamental de la Red Neuronal Feedforward (FNN) en este sistema no es generar

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



una única predicción determinista, sino facilitar la generación de escenarios probabilísticos para las principales variables inciertas que impactan la planificación agrícola: clima, rendimiento de cultivos y precios de mercado. Esta aproximación permite cuantificar la incertidumbre y alimentar un modelo de optimización robusto[3].

**Entradas**

La FNN utilizará los datos previamente procesados por el módulo de procesamiento de datos.

**Arquitectura de Múltiples Cabezas y Salidas Objetivo**

Para abordar las diversas naturalezas de las variables inciertas (categóricas probabilísticas como el clima y el mercado, y continuas como el rendimiento), se propone una arquitectura de FNN con múltiples cabezas de salida (multi-output). Esta configuración permite que la red comparta el aprendizaje de patrones complejos en sus capas ocultas, mientras especializa cada salida para su tarea específica. La arquitectura general consiste en:

- Capas Ocultas Compartidas: De 3 a 5 capas densas, con 64 a 256 neuronas por capa (ajustable durante la experimentación). Utilizan funciones de activación ReLU o LeakyReLU para introducir no linealidad. Estas capas aprenden representaciones de alto nivel de los datos que son comunes y útiles para todas las predicciones.
- Múltiples Cabezas de Salida: Ramificaciones finales del modelo, cada una diseñada para una variable probabilística específica:
  - Cabeza de Clima: Predice la probabilidad de diferentes regímenes climáticos para la campaña (”Temporada Seca”, ”Temporada Húmeda”, ”Temporada Normal”). Contiene 3 neuronas con activación softmax, asegurando que las salidas se interpreten como probabilidades y sumen 1.
  - Cabeza de Precios de Mercado: Estima la probabilidad de diferentes niveles de precios de venta para los cultivos (”Precios Bajos”, ”Precios Medios”, ”Precios Altos”). Consiste en 3 neuronas con activación softmax.
  - Cabeza de Rendimiento Potencial: Predice los parámetros de una distribución de probabilidad continua (normal) para el rendimiento real por hectárea de los cultivos. Esta cabeza típicamente tendrá 2 neuronas con activación lineal (para la media) y softplus (para la desviación estándar, garantizando valores positivos).

**De Predicciones de la FNN a Escenarios Estocásticos**

Las salidas de la FNN nos proporcionan información clave sobre la incertidumbre futura: las probabilidades de diferentes estados de clima y mercado, y los parámetros (como la media y la desviación estándar) de la distribución de rendimiento esperado. Para que el Modelo de Programación Estocástica (PE) pueda utilizar esta información, necesitamos transformarla en una lista concreta y manejable de escenarios futuros posibles, cada uno con su probabilidad de ocurrencia. Este proceso se realiza en dos pasos:

1. Simulación de Escenarios Detallados:
   - Tomamos las predicciones de la FNN (ej. ”60 % de probabilidad de clima Normal”, rendimiento medio de 75 tn/ha con una desviación estándar de 8 tn/ha”).
   - A partir de estas probabilidades y parámetros, generamos un gran número de ”futuros”posibles mediante un proceso de simulación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En este proceso, para cada ”futuro”simulado, se elige un estado de clima y un nivel de precio de mercado según sus probabilidades, y un valor de rendimiento se .extrae”de la distribución predicha por la FNN.

- El resultado es una colección extensa de escenarios combinados (ej., miles), donde cada uno describe una situación completa (ej., Çlima Normal- Rendimiento de 78 tn/ha- ”Precios Medios”).

2. Reducción y Selección de Escenarios Representativos:

- Dado que manejar miles de escenarios es inviable para la optimización con PE, el siguiente paso es reducir este gran conjunto a un número más pequeño (ej., entre 5 y 20) de escenarios clave y representativos.
- Esto se logra utilizando técnicas que identifican y agrupan los escenarios similares, seleccionando los que mejor resumen el conjunto completo de posibilidades.
- A cada uno de estos escenarios finales se le asigna una probabilidad que representa la probabilidad combinada de todos los ”futuros”que agrupa o representa.

Este proceso asegura que la información probabilística y paramétrica de la FNN se traduzca en un formato discreto y manejable, esencial para que el Modelo de Programación Estocástica pueda diseñar un plan óptimo y robusto frente a la incertidumbre.

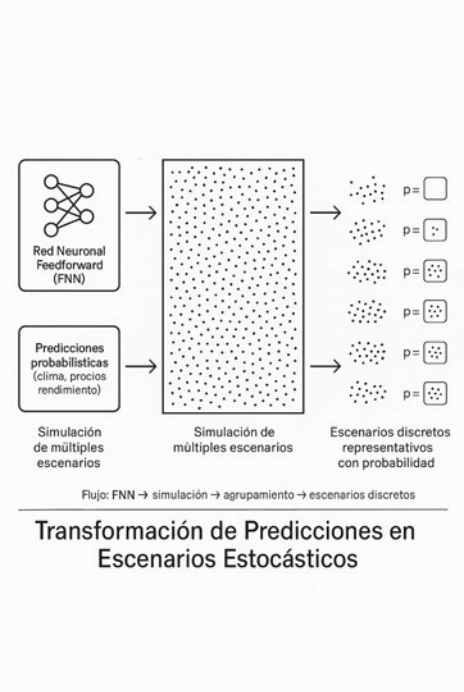



**Figura 1.** Transformación de Predicciones en Escenarios Estocásticos.

**Modelo de Programación Estocástica**

Se propone inicialmente un modelo de dos etapas, extensible a multi-período[1, 2]. Este modelo permite tomar decisiones .aquí y ahora”que sean robustas frente a la incertidumbre futura y define políticas de recurso”para ajustar la operación a medida que la incertidumbre se resuelve.

**Etapa 1**

Estas son las decisiones de primera etapa, tomadas al inicio de la campaña, antes de que se conozca la realización específica del clima, los rendimientos y los precios de mercado. Estas decisiones son fijas para todos los escenarios de incertidumbre.

- Asignación de cultivos por lote/hectárea.
- Cantidades de semillas a adquirir.
- Compra anticipada de fertilizantes base.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Inversión en capacidad de almacenamiento temporal.
- Contratación de seguros agrícolas o coberturas de precio

**Etapa 2**

Estas son las acciones adaptativas o decisiones de recurso que se toman a lo largo de la campaña o después de la cosecha, una vez que la incertidumbre comienza a resolverse y el estado real del clima, los cultivos y los precios se hace evidente. Estas decisiones son específicas para cada escenario y buscan optimizar la situación dada las condiciones observadas.

- Aplicación adicional de fertilizante o riego suplementario.
- Tratamientos contra plagas.
- Fecha de cosecha (temprana o esperada).
- Decisión de venta inmediata o almacenamiento y venta diferida.
- Reasignación limitada de recursos (mano de obra, maquinaria).

**Formulación Matemática**

Se presenta un esquema de la formulación de un modelo de PE de dos etapas.

**Índices:**

- $i \in C$: Cultivos disponibles.
- $l \in L$: Lotes o hectáreas disponibles.
- $j \in I$: Insumos agrícolas (semillas, fertilizantes, pesticidas).
- $s \in S$: Escenarios de incertidumbre (clima, rendimiento, precios) con probabilidades $P_s$, generados por la FNN.

**Parámetros:**

- $A_l$: Área disponible en el lote $l$.
- $R_{i,l,s}$: Rendimiento (tn/ha) esperado del cultivo $i$ en el lote $l$ bajo el escenario $s$. Este es un dato clave derivado de las predicciones de la FNN y los escenarios.
- $P_{i,s}$: Precio de venta por tonelada del cultivo $i$ en el escenario $s$.
- $K_j^{(1)}$: Costo unitario del insumo $j$ si se compra en la Etapa 1 (costo pretemporada, fijo).
- $K_{j,s}^{(2)}$: Costo unitario del insumo $j$ si se compra adicionalmente en la Etapa 2 bajo el escenario $s$ (costo de ajuste).
- $B$: Presupuesto inicial disponible.
- $W_s$: Disponibilidad hídrica total en el escenario $s$.

**Variables de Decisión Etapa 1:**

- $x_{i,l} \geq 0$: Superficie del lote $l$ asignada al cultivo $i$. (Puede ser binaria o entera si se asigna un lote completo a un solo cultivo).
- $q_j \geq 0$: Cantidad de insumo $j$ comprada en pretemporada.

**Variables de Decisión Etapa 2 (dependientes del escenario $s$):**

- $u_{j,s} \geq 0$: Cantidad adicional del insumo $j$ aplicado bajo el escenario $s$.
- $h_{i,l,s} \in [0,1]$: Proporción del cultivo $i$ en el lote $l$ cosechada efectivamente bajo el escenario $s$ (podría modelar pérdidas por eventos extremos).
- $v_{i,s} \geq 0$: Toneladas vendidas del cultivo $i$ bajo el escenario $s$.
- $w_{i,s} \geq 0$: Toneladas almacenadas del cultivo $i$ bajo el escenario $s$ (si se modela almacenamiento).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Función Objetivo (Maximizar Utilidad Neta Esperada)**

El objetivo principal del modelo de Programación Estocástica es maximizar la utilidad neta esperada a lo largo de la campaña agrícola. Esto se logra calculando el beneficio promedio en todos los escenarios futuros posibles (de clima, rendimiento y precios) que han sido generados por la FNN. La función busca balancear los ingresos esperados de las ventas con los costos de los insumos (tanto iniciales como de ajuste), el almacenamiento y los seguros, considerando la probabilidad de ocurrencia de cada escenario

$$\begin{aligned}\max Z = \sum_{s\in S} P_s \Big[ & \sum_{i,l} P_{i,s} \cdot R_{i,l,s} \cdot h_{i,l,s} \cdot x_{i,l} \\ & - \sum_j K_j^{(1)} \cdot q_j - \sum_j K_{j,s}^{(2)} \cdot u_{j,s} \\ & - \text{Costos}_{\text{alm}}(w_{i,s}) \\ & - \text{Costos}_{\text{seguro}} \Big]\end{aligned} \tag{1}$$

**Restricciones:**

1. **Restricción de Tierra por Lote:** La superficie asignada a cultivos en cada lote no debe exceder su área disponible.

$$\sum_i x_{i,l} \le A_l \quad \forall l \in L$$

2. **Restricción de Presupuesto Inicial:** El costo total de las compras de insumos en pretemporada no debe exceder el presupuesto inicial.

$$\sum_j K_j^{(1)} \cdot q_j \le B$$

3. **Disponibilidad de Insumos (Balance):** El uso total de un insumo (compra inicial + compra adicional en segunda etapa) debe satisfacer los requisitos del cultivo.

$$\text{UsoTotal}_{j,s} \le q_j + u_{j,s} \quad \forall j \in I,\ \forall s \in S$$

4. **Restricción de Agua/Riego Limitado:** El agua total requerida para el riego en un escenario no debe exceder la disponibilidad hídrica para ese escenario.

$$\sum_{i,l} \text{req\_agua}_{i,l}(u_{\text{riego},i,s}) \le W_s \quad \forall s \in S$$

5. **Balance Cosecha/Venta/Almacenamiento:** La producción cosechada de cada cultivo en cada escenario debe ser igual a la suma de lo vendido y lo almacenado.

$$\sum_l R_{i,l,s} \cdot h_{i,l,s} \cdot x_{i,l} = v_{i,s} + w_{i,s} \quad \forall i \in C,\ \forall s \in S$$

**Flujo de Operación del Sistema**

1. Inicio de la Temporada (Hoy): Se introducen los datos actuales al Módulo de Recolección.
2. Generación de Escenarios: La FNN predice los escenarios de clima y precios para la temporada con sus probabilidades.
3. Optimización de Plan: El Módulo de Programación Estocástica recibe los escenarios y genera el plan de siembra y compra de insumos óptimo (decisiones de primera etapa).
4. Ejecución del Plan Inicial: El agricultor implementa estas decisiones.
5. Monitoreo Continuo: A lo largo de la temporada, el sistema monitorea el clima real, los precios de mercado y el estado del cultivo.
6. Ajuste Dinámico (Segunda Etapa): Si las condiciones se desvían de los escenarios más probables, el sistema ofrece recomendaciones para las decisiones de segunda etapa (ej., con la sequía

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



actual, aplique X litros de agua adicionales o con la baja de precios, considere almacenar). Estos ajustes pueden incluso disparar una re-evaluación del modelo estocástico con información actualizada.

7. Retroalimentación y Re-entrenamiento: Los datos reales observados durante la temporada se añaden a la base de datos histórica para re-entrenar y mejorar la FNN periódicamente, haciéndola cada vez más precisa.




**Figura 2.** Arquitectura del sistema.

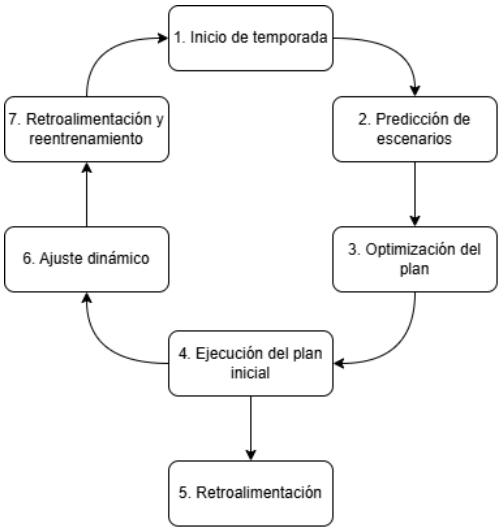



**Figura 3.** Flujo de Operación y Retroalimentación del Sistema.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Este trabajo ha presentado un enfoque innovador para la gestión inteligente de cultivos en Tucumán, integrando una Red Neuronal Feedforward (FNN) para la predicción probabilística de escenarios y un modelo de Programación Estocástica (PE) para la optimización de decisiones. La FNN con múltiples cabezas genera los parámetros necesarios para simular y reducir escenarios de clima, rendimiento y precios. El modelo PE de dos etapas utiliza estos escenarios para determinar planes robustos de siembra e insumos, y políticas de ajuste dinámico durante la campaña. Los aportes clave incluyen decisiones proactivas y resilientes, uso eficiente de recursos y mayor rentabilidad, contribuyendo a la adaptación al cambio climático y una ventaja competitiva[5] A pesar de su solidez conceptual, las limitaciones de este estudio radican principalmente en el alcance. La implementación práctica requerirá la validación con datos reales detallados de Tucumán y una extensa fase de experimentación.

Para la primera fase de implementación, se considera más viable el desarrollo de una aplicación web. Esta opción permite centralizar el procesamiento de datos y la optimización en un servidor, facilitando la interacción de los agricultores y cooperativas mediante un navegador sin necesidad de instalar software adicional. La interfaz web ofrecerá visualizaciones de escenarios, planes de siembra e insumo, y recomendaciones dinámicas de ajuste, permitiendo acceso remoto desde cualquier dispositivo con conexión a internet. Además, este entorno posibilita futuras integraciones con módulos de monitoreo en tiempo real (sensores, drones) y con bases de datos institucionales, garantizando escalabilidad y usabilidad en contextos individuales, cooperativos e institucionales.

Como líneas de investigación futuras, se propone:

- Implementación Empírica: Desarrollar un prototipo y validarlo con datos reales de temporadas agrícolas en la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



región.

- Refinamiento de Modelos: Investigar arquitecturas más avanzadas para la FNN y métodos de generación de escenarios que capturen dependencias temporales y espaciales.
- Modelado de Riesgo Avanzado: Integrar medidas de riesgo más sofisticadas.
- Ampliación del Alcance: Extender el modelo de PE para incluir la cadena de suministro completa y consideraciones de sostenibilidad ambiental.
- Usabilidad: Diseñar una interfaz intuitiva para facilitar la interacción del agricultor con el sistema.

La superación de estas limitaciones y la exploración de estas líneas futuras fortalecerán el potencial de esta solución para transformar la toma de decisiones agrícolas.

## Referencias

[1] Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (9.ª ed.). Pearson Educación.
[2] Aráoz, C. A. (2015). *Optimización matemática aplicada a la ingeniería*. Reverté.
[3] Haykin, S. (2001). *Redes neuronales: Un enfoque práctico* (2.ª ed.). Prentice Hall.
[4] Pieri, J. C., y Ortega, R. (2017). *Agricultura de precisión: Conceptos, tecnología y aplicación en América Latina*. IICA – INTA.
[5] FAO (2017). *Agricultura Climáticamente Inteligente: Manual de campo para América Latina*. FAO.

### Datos de Contacto

- Negro Luqui, Franco. UTN FRT. francofnl123@gmail.com
- Ferjancic, Ian Ventzel. UTN FRT. ianferjancic20@gmail.com
- González Reinoso, Valentín. UTN FRT. valentingonzalezreinoso@gmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Planificación de sistemas fotovoltaicos del tipo on-grid utilizando programación lineal

**Arnedo, Emmanuel Augusto**
**García Tarcic, Iñaki**
**Hamada, Santino**
**Veliz, Héctor Matías**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**ABSTRACT**

*Este trabajo evalúa la factibilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico on-grid para el CAPS de Amaicha del Valle (Tucumán), motivado por la necesidad de reducir costos eléctricos y huella de carbono en un servicio público esencial. Se desarrolló un modelo de programación lineal multiobjetivo jerarquizado que determina una única combinación de un modelo de panel y un modelo de inversor. El modelo prioriza: (1) minimizar la inversión, (2) maximizar la generación, (3) maximizar el ahorro de $CO_2$ y (4) minimizar la superficie ocupada. Utiliza datos locales de irradiación, la demanda promedio del establecimiento y el área disponible en cubierta, e incorpora restricciones de cobertura mínima de demanda, capacidad del inversor, cantidad discreta de módulos/strings y límite de superficie. Aplicado al caso de estudio, la solución recomienda 23 paneles monocristalinos de 500 W y un inversor trifásico de 15 kW, con una generación estimada de 50,6 kWh/día, uso de 54,5 m² e inversión de $7.142.800, logrando un ahorro anual de 4.912,8 kg de $CO_2$. Los resultados confirman la viabilidad del esquema on-grid para contextos rurales y aportan un procedimiento reproducible para dimensionar proyectos similares, permitiendo decisiones objetivas y transparentes al balancear costo, energía y ocupación, con beneficios directos económicos y ambientales para el sistema de salud.*

## I. FUNDAMENTACIÓN

En la actualidad, el CAPS de Amaicha del Valle, provincia de Tucumán, enfrenta un costo elevado en su factura de energía eléctrica, debido al alto consumo de sus dispositivos especializados.

Una alternativa para reducir estos costos sería implementar un sistema energético que utilice paneles solares aprovechando que es una zona con clima árido y seco, favorecida con abundantes días soleados y despejados que brindan una elevada radiación solar todo el año.

La instalación de paneles se planifica considerando el espacio disponible en el techo del lugar e implementando un sistema del tipo on-grid [7].

Utilizando programación lineal se busca obtener la cantidad óptima de paneles que satisfagan la producción eléctrica deseada, con el mínimo costo de instalación, respetando el área disponible y reduciendo la huella de carbono.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo general

Reunir y analizar información técnica, económica y ambiental necesaria para diseñar un modelo de programación lineal multiobjetivo que ayude a planificar la instalación de un sistema solar fotovoltaico on-grid en el CAPS de Amaicha del Valle, con el propósito de reducir el costo de la factura eléctrica y disminuir emisiones de $CO_2$.

### B. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Recolectar la información necesaria para el desarrollo y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ejecución del modelo de optimización (área disponible de instalación, consumo diario del CAPS, alternativas de paneles e inversores con costos y rendimientos, y radiación solar local).
- Formular el modelo multiobjetivo jerarquizado que determine la combinación óptima panel–inversor.
- Analizar la solución obtenida y su factibilidad de implementación (técnica, económica y normativa), identificando condicionantes y recomendaciones.

## III. MARCO CONCEPTUAL

Un sistema fotovoltaico on-grid es un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos que convierten la radiación solar en electricidad y la integran a la red eléctrica del edificio y/o a la red pública *[7]*, *[13]*. La radiación solar, usualmente expresada en kWh/m²/día, incide sobre los paneles solares, que generan corriente eléctrica continua; esta es acondicionada por el inversor para convertirla en corriente eléctrica alterna compatible con la instalación del CAPS y con la red eléctrica *[12]*. En un esquema on-grid, cuando la producción supera el consumo eléctrico instantáneo del centro, la producción extra puede inyectarse a la red bajo el marco de la normativa on-grid aplicable, que regula condiciones técnicas, de seguridad y eventuales beneficios o compensaciones por la energía aportada *[6]*.

Dentro de las tecnologías disponibles, los paneles monocristalinos monofaciales se destacan por su alta eficiencia y menor ocupación de área respecto de otras alternativas, lo que resulta relevante cuando la superficie de instalación es limitada *[4]*. La selección del inversor también condiciona el desempeño del sistema. En particular, la cantidad de MPPT (Maximum Power Point Tracking) define cuántos strings pueden operar con orientaciones o inclinaciones distintas sin penalizar el rendimiento global, lo que aporta flexibilidad para disponer los paneles en techos con heterogeneidades, sombras parciales o sectores con distinta insolación *[9]*.

La decisión entre alimentación monofásica o trifásica responde a las características de la red interna del CAPS y a los requerimientos del distribuidor. Los sistemas trifásicos permiten repartir la carga entre tres fases desfasadas 120° y suelen ofrecer mejor calidad de servicio para potencias medias y altas; en cambio, una conexión monofásica puede ser suficiente en instalaciones pequeñas o con demandas más acotadas. Este encuadre eléctrico, junto con el dimensionamiento de potencia y los límites de tensión/corriente del fabricante, enmarca las restricciones técnicas del diseño.

Desde la perspectiva ambiental, la energía generada localmente para autoconsumo permite disminuir la demanda a la red y, por ende, las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación convencional. En particular, el $CO_2$ evitado constituye un indicador relevante para evaluar el aporte del sistema a la mitigación del cambio climático. La cuantificación de estos beneficios requiere estimar la generación anual esperada en función de la radiación disponible y de las pérdidas del sistema, y aplicar factores de emisión adecuados.

## IV. MARCO TEÓRICO

Para abordar el diseño del sistema fotovoltaico on-grid del CAPS se adopta un modelo de Programación Lineal (PL) que representa, mediante ecuaciones, la relación entre las decisiones (cantidad de paneles de un modelo y cantidad de inversores) y las restricciones técnicas y normativas (cobertura mínima de demanda, límite de área disponible, compatibilidad DC/AC

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



entre paneles e inversor, y encuadre regulatorio). En este marco, la PL permite optimizar una función objetivo calculando los valores de las variables de decisión que cumplen simultáneamente todas las limitaciones del problema *[1]*.

Dado que el proyecto persigue múltiples metas minimizar el costo total, maximizar la energía generada, maximizar el $CO_2$ evitado y minimizar el área ocupada, el modelo se formula como multiobjetivo porque estos objetivos pueden entrar en conflicto *[11]*.

Para ordenar esas metas se utiliza un enfoque multiobjetivo jerarquizado: se resuelve primero el objetivo más crítico y, sobre el conjunto de soluciones óptimas para ese objetivo, se optimizan secuencialmente los siguientes (generación, $CO_2$ evitado y, por último, área). Esta estrategia se justifica porque: (i) refleja la prioridad real de decisión del proyecto; (ii) evita arbitrariedad en la elección de pesos entre objetivos y facilita la trazabilidad del criterio; y (iii) resulta compatible con datos determinísticos disponibles y con herramientas de uso extendido (Excel/Solver), manteniendo el modelo simple, reproducible y verificable para su implementación práctica *[14]*.

## V. MARCO CONTEXTUAL

Una de las alternativas más accesibles y ecológicas ante el constante crecimiento de la emisión de gases contaminantes, es la energía solar fotovoltaica. Esta se refiere a convertir la luz del sol en electricidad mediante paneles solares. Dichos sistemas no producen emisiones, requieren poco mantenimiento y pueden instalarse tanto en zonas urbanas como rurales. Así, se presentan como una solución ideal para reducir la contaminación y el costo del consumo eléctrico.

En la actualidad, el Centro de Atención Primaria de la Salud (CAPS) de Amaicha del Valle, en la provincia de Tucumán, enfrenta un desafío crítico en términos de eficiencia energética y sostenibilidad financiera. Debido a sus ininterrumpidos servicios médicos, dependen en gran medida del funcionamiento constante de equipos eléctricos esenciales. Esto genera un gasto eléctrico significativo, que representa una porción considerable del presupuesto operativo de la institución, limitando así la asignación de recursos a otras áreas prioritarias. La institución dispone de 60 $m^2$ de superficie en el techo para colocar paneles solares, y su consumo medio es de 63 kWh por día aproximadamente.

La región se caracteriza por un clima árido con alta incidencia solar, registrando más de 300 días despejados al año y niveles de radiación solar superiores a 6,3 kWh/$m^2$ por día [5] en promedio, siendo una zona idónea para el aprovechamiento de la energía fotovoltaica.

Ante esta problemática, se plantea el diseño e implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica on-grid mediante paneles monocristalinos de alta eficiencia, instalados en los tejados del CAPS. Este sistema permitiría no solo autoconsumo instantáneo, sino también la inyección de excedentes a la red pública bajo un esquema de medición neta bidireccional, siempre que se ajuste a la normativa local y nacional en materia de generación distribuida (Ley 27.424 y regulaciones provinciales) [2].

Los paneles utilizan la radiación solar para producir energía en forma de corriente continua, que luego pasa por uno o más inversores y se transforma en corriente alterna, compatible con la red eléctrica y los aparatos del edificio. Además, se instala un medidor bidireccional (brindado por el distribuidor de la red) que registra tanto la electricidad que se consume como la que se inyecta cuando hay excedente de generación. El sistema se completa con cableado y protecciones que garantizan una conexión segura y eficiente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A continuación, se presentan cuadros comparativos sobre las alternativas de paneles solares e inversores que se tendrán en cuenta para el desarrollo del modelo:

| Modelo | Marca | Potencia (W) | Área ($m^2$) |
|---|---|---|---|
| PS-170M | Enertik | 170 | 0,91 |
| TSM-445NEG9R.28 | Trina | 445 | 1,98 |
| AS-7M132-HC-500W | Ameri solar | 500 | 2,37 |
| PS-370M | Enertik | 370 | 2,27 |
| TSM-550DE19 | Trina | 550 | 2,51 |
| JKM580N-72HL4-V | Jinko | 580 | 2,58 |

*Tabla 1: Modelos de paneles solares parte 1 [9]*

| Modelo | Precio (k$) | Ahorro de emisiones CO2 (kg) |
|---|---|---|
| PS-170M | 135.800 | 90,78 |
| TSM-445NEG9R.28 | 169.700 | 237,63 |
| AS-7M132-HC-500W | 184.500 | 267 |
| PS-370M | 209.700 | 197,58 |
| TSM-550DE19 | 213.900 | 293,70 |
| JKM580N-72HL4-V | 216.800 | 309,72 |

*Tabla 2: Modelos de paneles solares parte 2 [9]*

M: Monofásico

T: Trifásico

| Modelo | Marca | Tipo | Capacidad (W) |
|---|---|---|---|
| GW2000-XS-11 | GoodWe | M | 2.000 |
| GW3000-XS-11 | GoodWe | M | 3.000 |
| GW5000-DNS-30 | GoodWe | M | 5.000 |
| GW7000-MS-30 | GoodWe | M | 7.000 |
| GW10K-MS-30 | GoodWe | M | 10.000 |
| GW10K-SDT-20 | GoodWe | T | 10.000 |
| GW15K-SDT-30 | GoodWe | T | 15.000 |
| GW25K-SDT-C30 | GoodWe | T | 25.000 |
| GW50KS-MT | GoodWe | T | 50.000 |

*Tabla 3: Modelos de inversores parte 1 [9]*

| Modelo | Precio ($) | MPPT |
|---|---|---|
| GW2000-XS-11 | 810.900 | 1 |
| GW3000-XS-11 | 966.300 | 1 |
| GW5000-DNS-30 | 1.155.200 | 2 |
| GW7000-MS-30 | 1.831.500 | 3 |
| GW10K-MS-30 | 2.147.200 | 3 |
| GW10K-SDT-20 | 2.735.600 | 2 |
| GW15K-SDT-30 | 2.899.300 | 2 |
| GW25K-SDT-C30 | 2.922.600 | 2 |
| GW50KS-MT | 5.190.600 | 5 |

*Tabla 4: Modelos de inversores parte 2 [9]*

## VI. DESARROLLO

En el marco de la planificación de sistemas fotovoltaicos on-grid para el CAPS de Amaicha del Valle, se implementó un modelo de programación lineal multiobjetivo jerarquizado para optimizar la selección de paneles solares e inversores. Esto permite generar un impacto social positivo, contribuyendo a la comunidad indígena de Amaicha del Valle en vistas de un mejor futuro tanto económico como ambiental. Dicho enfoque permite atender secuencialmente los siguientes objetivos respetando su orden de prioridad:

- Minimizar costos (inversión inicial, mantenimiento).
- Maximizar la generación energética (en línea con la demanda del CAPS).
- Maximizar el ahorro de emisiones de CO2.
- Minimizar el área utilizada para la instalación de los paneles solares.

Cabe destacar que en el desarrollo del modelo no se tendrá en cuenta el mantenimiento de los paneles, porque su

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



costo monetario en comparación con el del resto de elementos es lo suficientemente bajo como para no influir en los resultados.

Para el problema planteado se tienen en cuenta los seis modelos de paneles solares detallados en la Tabla 1, y los nueve modelos de inversores de la Tabla 2, teniendo en cuenta que se debe seleccionarse un único modelo de panel e inversor. Las variables que representan estos datos son:

$$P_i = \text{Cantidad de paneles solares del modelo i a instalar.}$$

$$I_j = \text{Cantidad de inversores del modelo j a instalar.}$$

Por cada panel Pi, se tienen los datos de entrada que representan su costo, ahorro de emisiones, generación de energía real, potencia ideal y área. De la misma forma, para cada inversor $I_j$ se considera su costo y capacidad. Debido a la exclusividad de modelos tanto de paneles como de inversores, se tienen las variables binarias de uso de panel i ($UP_i$) y uso de inversor j ($UI_j$), las cuales cumplen la función de que la solución obtenida nos brinde un único modelo de panel e inversor.

La energía producida por los paneles depende directamente de la irradiación solar, que expresa la energía solar diaria por unidad de área y se puede interpretar como "horas pico de sol". Amaicha del Valle recibe, en promedio, 6,3 kWh/m² diarios de irradiación solar [5] a lo largo del año. Se estima que los paneles trabajan en su máxima potencia durante 6,3 horas por día ya que representan las "horas pico de sol". Se considera, además, una pérdida del 20% en la producción de energía, debido al cableado, suciedad acumulada en los paneles y la pérdida en el inversor. Por ende, el cálculo de la generación real de electricidad para cada panel i es:

Perdida: Factor de perdida (Perdida>0 y Perdida<1).

Horas(h): Irradiación solar promedio diaria ("horas pico de sol").

$$\text{Generación Real}_i(\text{Wh}) = \text{Potencia}_i(\text{W}) \cdot \text{Horas(h)} \cdot (1 - \text{Perdida}) \quad (1)$$

El primer objetivo del modelo es minimizar el costo de instalación, cuya función es:

$$Z_1\,(\text{Min}) = \sum_{i=1}^{6} \text{Costo } P_i\left(\frac{\$}{u}\right) \cdot P_i(u) + \sum_{j=1}^{9} \text{Costo } I_j\left(\frac{\$}{u}\right) \cdot I_j(u) \quad (2)$$

El segundo objetivo del modelo es maximizar la generación energética, dado por la siguiente función:

$$Z_2(\text{Max}) = \sum_{i=1}^{6} \text{Generación Real}_i \cdot P_i \quad (3)$$

El tercer objetivo del modelo es maximizar el ahorro de emisiones de dióxido de carbono por cada panel:

$$Z_3(\text{Max}) = \sum_{i=1}^{6} \text{Ahorro Emisiones}_i \cdot P_i(4)$$

Por último, el cuarto objetivo es minimizar el área utilizada para la instalación:

$$Z_4(\text{Min}) = \sum_{i=1}^{6} \text{Área}_i\left(\frac{m^2}{u}\right) \cdot P_i(u) \quad (5)$$

El consumo diario del CAPS es de 63.000Wh aproximadamente. Planteamos cubrir al menos el 80% de este, quedando en 54.000Wh:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



K: Porcentaje de consumo eléctrico a cubrir. (0<K y K<1)

$$\text{Consumo Real(Wh)} = \text{Consumo Diario(Wh)} \cdot \text{K} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \text{Generación Real}_i \left(\frac{\text{Wh}}{\text{u}}\right) \cdot \text{P}_i\,(\text{u}) \geq \text{Consumo Real(Wh)} \quad (7)$$

Contamos con 60 $m^2$ disponibles para la instalación de paneles:

$$\sum_{i=1}^{6} \text{Area}_i \left(\frac{\text{m}^2}{\text{u}}\right) \cdot \text{P}_i(\text{u}) \leq \text{Área disponible}(\text{m}^2) \quad (8)$$

Cada inversor posee una capacidad máxima que no debe superarse:

$$\sum_{i=1}^{6} \text{Potencia}_i \left(\frac{\text{W}}{\text{u}}\right) \cdot \text{P}_i\,(\text{u}) \leq \sum_{j=1}^{9} \text{Capacidad I}_j \left(\frac{\text{W}}{\text{u}}\right) \cdot \text{I}_j(\text{u}) \quad (9)$$

No se permite la combinación de diferentes modelos de paneles:

$$\text{M} = \frac{\text{Área disponible}}{\text{Área}_i} \quad (10)$$

$$\text{P}_i \leq \text{M} \cdot \text{UP}_i \;;\; i = 1, 2, \dots, 6 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{6} \text{UP}_i = 1 \quad (12)$$

No se permite la combinación de diferentes modelos de inversores:

$$\text{N} \in \{1,2,3\} \quad (13)$$

N depende tamaño de la obra y sirve para limitar los inversores a un valor coherente

$$\text{I}_i \leq \text{N} \cdot \text{UI}_i \;;\; i = 1, 2, \dots, 9 \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^{9} \text{UI}_j = 1 \quad (15)$$

Los inversores pueden utilizarse de forma excluyente en conexiones monofásicas o trifásicas:

T∈ {0,1} (1 = trifásico, 0 = monofásico):

$$\sum_{j \in J_{\text{trif}}} UI_j = T \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J_{\text{mono}}} UI_j = 1 - T \quad (14)$$

$$I_j \leq N \cdot UI_j \forall j \in \{1,2,\dots,9\} \quad (15)$$

Todas las variables del modelo son no negativas.

## VII. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

El desarrollo completo del modelo y sus resultados se encuentran detallados en el documento “Sistema fotovoltaico” anexado [15]. Al ejecutar el modelo en el complemento SOLVER de Excel, se obtiene una solución que contempla tres objetivos priorizados: minimizar los costos, maximizar la generación de energía y maximizar el ahorro en emisiones de $CO_2$. El cuarto, relacionado con minimizar el área utilizada, no puede ser alcanzado sin volver inconsistente al modelo, ya que al resolverlo se aleja de las previas soluciones óptimas.

Para alcanzar este último objetivo sin alterar la solución, sería necesario contar con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



paneles de mayor potencia (mayor eficiencia energética por metro cuadrado).

La solución óptima hallada alcanza un costo total de $7.142.800, una generación eléctrica de 50,6 kWh y un ahorro anual en emisiones de 4.912,8 kg. Esta configuración cubre el 80% del consumo diario promedio del Centro de Atención Primaria de la Salud de Amaicha del Valle (50,4 kWh), respetando la superficie disponible para instalación, donde se usaron 54,5 de los 60 m² disponibles.

La combinación de componentes óptima es la siguiente:

23 unidades del Panel Solar Amerisolar Monocristalino 500W **(**PSA500W)
1 unidad del Inversor con conexión a red trifásico 15kW - 2MPPT (IT15kW2MPPT)

Esta combinación fue determinada automáticamente por el modelo para cumplir con las prioridades establecidas y ajustarse a las restricciones técnicas y económicas del proyecto.

## VIII. CONCLUSIÓN

El modelo desarrollado demuestra que la planificación de sistemas fotovoltaicos puede abordarse de manera eficiente mediante técnicas de programación lineal, permitiendo tomar decisiones óptimas frente a múltiples objetivos y restricciones. En este caso particular, la solución obtenida logra una cobertura significativa de la demanda energética diaria, respetando los límites técnicos del CAPS. La propuesta resulta viable desde el punto de vista práctico, ya que la inversión inicial se amortiza en un plazo estimado de cuatro años [15], un resultado altamente favorable considerando la vida útil prolongada del sistema.

El modelo funciona bien para una primera planificación, pero hay que tener en cuenta sus limitaciones. La principal es que todo se representa con funciones lineales, lo que simplifica el problema. Además, trabaja con datos fijos, por lo que no está sujeto a incertidumbres. Aun así, logra ser sumamente útil y ayuda a tomar decisiones informadas y a comparar alternativas. Es una gran demostración del valor que tiene la programación lineal como herramienta matemática.

Más allá del uso específico para el CAPS, el modelo es escalable y flexible. Puede aplicarse en cualquier infraestructura alterando los parámetros de entrada.

## REFERENCIAS

[1] Anderson, Sweeney, Williams, Camm, & Martin. (2011). Métodos cuantitativos para los negocios. CENGAGE Learning.
[2] Argentina. (2017). Retrieved from *https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27424-305179*
[3] Argentina, M. d. (2018). Retrieved from *https://calculadorsolar.energia.gob.ar/calculador*
[4] AutoSolar. (n.d.). Retrieved from *https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino*
[5] Commission, E. (2024, Diciembre). Retrieved from*: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/* .
[6] EDET S.A. (n.d.). Retrieved from *https://www.edetsa.com/info/pwa/institucional/generacion-distribuida-alternativa-de-energia-renovable*
[7] ENELX. (n.d.). Retrieved from *https://www.enelx.com/cl/es/preguntas-y-respuestas/que-es-un-sistema-fotovoltaico-on-grid-y-off-grid*
[8] Energiu. (2025). Retrieved from *https://energiu.com/cotizador/*
[9] enertik.fuente de paneles e inversores. (n.d.). Retrieved from *https://enertik.com/ar/*
[10] Lumager. (n.d.). Retrieved from *https://lumagerenergia.com.ar/sistema-on-grid-en-argentina/*
[11] Mathur, K., & Solow, D. (1996). Investigación de operaciones. PRENTICE HALL.
[12] SOLAR360. (n.d.). Retrieved from *https://www.solar360.es/blog/autoconsumo/que-es-un-inversor-solar*
[13] Ente Vasco de la Energía (2000). *LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL PAIS VASCO* (1.ª ed.).. **pp. 57–22**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[14] Winston, W. L. (2005). Investigación de Operaciones. THOMSON.

[15] Arnedo, E., García, I., Hamada, S., & Véliz, M. (2025). Excel complementario: *https://bit.ly/4kKd2hF*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# SGE 3.0 - Reingeniería del Sistema de Gestión del departamento de ingeniería Electrónica

**Beretta, Chiara Sofia; Lingeri, Martin; Marsico, Franco Alessandro; Pinto, Diego Alejandro; Yoo, Martin Andres**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*Este trabajo presenta la investigación de la reingeniería del Sistema de Gestión Electrónica (SGE) del Departamento de Ingeniería Electrónica de la UTN-FRBA (Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires). El problema identificado surge de las limitaciones del sistema previo, que no contemplaba funcionalidades necesarias a nivel departamental, como la gestión de inscripciones especiales, el registro de votaciones de consejeros o la administración de ventanilla del departamento, lo que derivaba en procesos manuales, dispersos y con escasa trazabilidad. El objetivo principal es modernizar y optimizar procesos clave mediante la identificación y priorización de requerimientos funcionales y no funcionales, producto de entrevistas y análisis de procesos existentes. La metodología adoptada fue predictiva, a su vez permitiendo una validación de módulos con los usuarios. Como resultado, se obtuvieron documentos técnicos normalizados y módulos clave funcionales. Las conclusiones indican que el enfoque participativo y la adopción de tecnologías abiertas garantizan escalabilidad, trazabilidad y mayor aceptación del sistema por parte de sus usuarios.*

**Palabras Clave**
Sistema de gestión, ingeniería de requerimientos, reingeniería, transformación digital.

## Introducción

En el contexto de instituciones universitarias de gran escala como la UTN-FRBA, los sistemas de gestión cumplen un rol central para garantizar la eficiencia, trazabilidad y transparencia de los procesos académicos y administrativos. El crecimiento sostenido de la matrícula, la diversificación de ofertas académicas y la necesidad de respuestas ágiles por parte de las áreas administrativas, han puesto en evidencia las limitaciones del Sistema de Gestión Electrónica (SGE) actualmente en uso.

A nivel global, el sector de la educación superior se encuentra en plena transformación digital. Según EDUCAUSE [1], el 95% de las universidades considera la digitalización como una prioridad estratégica, mientras que el 79% ya invierte activamente en herramientas digitales para optimizar procesos administrativos y académicos. Según Grand View Research [2], el mercado global de sistemas de información estudiantil alcanzó aproximadamente USD 8.05 mil millones en 2022 y se proyecta que crezca a una tasa anual compuesta del 20.3 % hasta 2030. En el contexto argentino, el SIU (Sistema de Información Universitario) Guaraní es la solución oficial y ampliamente adoptada para la gestión académica. Sin embargo, su alcance se limita a la administración de legajos, materias, inscripciones y trayectoria formal. No contempla funcionalidades necesarias a nivel departamental, como la gestión de reservas físicas de laboratorios, el reporte técnico de fallas, la votación electrónica de actas o el seguimiento de inscripciones especiales. Ante esta situación, el desarrollo del SGE 3.0 representa una oportunidad concreta y necesaria para implementar una solución específica, modular y escalable, diseñada en base a las necesidades propias del Departamento de Ingeniería Electrónica.

Un sistema moderno, interoperable y centrado en el usuario permite optimizar recursos, reducir errores, mejorar la comunicación institucional y ofrecer servicios de calidad a estudiantes, docentes y personal administrativo. Además, facilita el cumplimiento de estándares normativos, la integración con plataformas nacionales como SIU Guaraní y asegura una mayor

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



adaptabilidad ante cambios organizacionales o tecnológicos.

Según Pressman [3], en ingeniería de software se señala que la aplicación sistemática de procesos bien definidos contribuye a reducir tiempos de desarrollo, mejorar la calidad de los sistemas y aumentar la satisfacción de los usuarios finales. En el ámbito universitario, donde coexisten múltiples actores y procesos simultáneos, estas capacidades resultan particularmente valiosas, ya que favorecen la eficiencia administrativa y la trazabilidad institucional.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es presentar un enfoque metodológico riguroso para relevar, priorizar y especificar los requerimientos funcionales y no funcionales del nuevo SGE 3.0, proponiendo una solución que responde a necesidades reales y con impacto institucional comprobable. Para cumplir con el objetivo propuesto, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en la sección 1, se definen los distintos requerimientos funcionales. En la sección 2 se detallan los requerimientos no funcionales. En la sección 3, se explican los desafíos de la reingeniería del sistema actual y como se llevó a cabo. Finalmente, en la sección 4, se desarrollan las conclusiones y futuras líneas de trabajo.

**Elementos de trabajo**

El equipo de investigación está conformado por cinco integrantes. Cada integrante desempeña uno o más roles específicos en el proyecto. A continuación, se mencionan los roles asignados a cada miembro:

- Project Manager
- Desarrollador Jr
- Desarrollador QA
- Analista Funcional

Cada uno de estos roles desempeña sus responsabilidades específicas y trabaja en colaboración con el resto del equipo.

**Metodología**

El desarrollo del presente trabajo se enmarcó en una metodología predictiva, estructurada en etapas secuenciales claramente definidas. Esta elección permitió una planificación anticipada del alcance, los tiempos y los entregables, favoreciendo un control preciso del proyecto. Se llevaron a cabo reuniones con los clientes/usuarios institucionales, quienes aportaron insumos clave para la definición de requerimientos.

El proceso se inició con el relevamiento documental y entrevistas con personal del Departamento de Ingeniería Electrónica. Luego, se desarrollaron sesiones estructuradas de validación y ajuste de requerimientos, seguidas por la documentación formal. La retroalimentación obtenida permitió consolidar los módulos funcionales propuestos, minimizando ambigüedades y anticipando necesidades futuras del sistema.

Gracias a esta metodología, se recopilaron los siguientes documentos:

- Registro de interesados del proyecto
- Habilidades y competencias para el proyecto
- Estudio de factibilidad
- Business Model Canvas
- Matriz de comunicaciones
- Gestión de riesgos
- WBS
- Roles y responsabilidades
- Estimación de costos
- Descripción de casos de uso
- Diagrama de casos de uso
- Documentación de relevamiento
- Especificación de requerimientos
- Diagrama de entidad
- Diagrama de secuencia
- Documento de arquitectura
- Diagrama de estados
- Plan de pruebas

**1. Definición de requerimientos funcionales**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Los requerimientos funcionales del sistema fueron clasificados y priorizados en función de su impacto operativo y valor institucional. Cada uno de ellos representa una funcionalidad esencial que responde a una necesidad concreta del Departamento de Ingeniería Electrónica. A continuación, en la figura 1, se presenta un diagrama de casos de uso seguido por una breve descripción de los módulos definidos para llevar a cabo los mismos.



*Figura 1 – Diagrama de casos de uso*

**1.1 Inscripciones especiales**
Este módulo permite gestionar solicitudes de inscripción fuera del sistema oficial SIU Guaraní, contemplando situaciones como la falta de cupo o excepciones reglamentarias. Su existencia responde a la necesidad de brindar una vía institucional alternativa, formal y trazable para casos excepcionales que hasta el momento se gestionaban de forma manual, mediante correos electrónicos informales y sin un apartado para trazabilidad de estas.

**1.2 Módulo de consejeros**
Diseñado para facilitar el proceso de votación de actas por parte del consejo directivo del departamento, este módulo permite registrar votos con sentido (acuerdo, desacuerdo, parcial) y comentarios asociados. Su incorporación automatiza un proceso clave de gobernanza académica, garantizando transparencia, acceso seguro a las actas y trazabilidad de las decisiones colegiadas. Al día de hoy las votaciones se generan sin tener control completo sobre el ciclo de vida de las actas o de sus votaciones.

**1.3 ABM de materias en la página institucional**
La posibilidad de administrar materias, profesores y ayudantes desde un entorno centralizado impacta directamente en la visibilidad pública y la coherencia de la información académica del departamento. Este módulo conecta con la necesidad de mantener actualizada la información institucional publicada, tanto en la web como en otros sistemas integrados.

**1.4 Reporte de fallas**
El módulo de reporte de fallas busca formalizar la comunicación de problemas técnicos en equipos o laboratorios. A través de formularios estandarizados, se facilita el seguimiento de incidentes y la planificación de mantenimientos, promoviendo así una gestión proactiva de recursos físicos, fundamental en entornos de laboratorio intensivo como los de ingeniería.

**1.5 Ventanilla virtual**
Hoy en día, el método de comunicación con el departamento de electrónica es gestionado mediante correo electrónico. Este módulo habilita un canal accesible y abierto para que estudiantes o externos realicen consultas al departamento. La trazabilidad del estado de las consultas y el resumen diario al personal encargado permiten una atención más ordenada y eficiente, evitando pérdidas de información y tiempos muertos.

**1.6 Reserva de laboratorios**
Permite a docentes y alumnos reservar laboratorios para clases o proyectos. Se encuentra vinculado al módulo de fallas, de modo que un equipo reportado como no disponible no puede ser reservado. Esto no se contempla en la versión actual del sistema. Esto garantiza un uso eficiente de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



los recursos y evita conflictos operativos. También habilita la supervisión por parte de jefes de cátedra.

**1.7 Pantallas institucionales**
Con el objetivo de visibilizar las actividades académicas en tiempo real, este módulo permite mostrar en pantallas del departamento información sobre clases del día, links, QRs, y otros contenidos institucionales. Incorpora además un rol de validación del contenido, lo que asegura que la información publicada sea confiable, actual y relevante para la comunidad educativa.

Cada módulo fue definido con entradas específicas, relaciones intermodulares y observaciones sobre su operatividad y sostenibilidad dentro del SGE 3.0.

**2. Definición de requerimientos no funcionales**
Los requerimientos no funcionales definen los atributos de calidad que debe cumplir el sistema para garantizar su confiabilidad, escalabilidad y mantenimiento a largo plazo. Cada uno de ellos fue especificado con el objetivo de responder a criterios técnicos y de sostenibilidad alineados con estándares modernos de desarrollo de software.

**2.1 Despliegue en Docker**
El sistema debe ejecutarse sobre contenedores Docker [4]. Esta decisión técnica responde a la necesidad de garantizar portabilidad entre entornos, consistencia en la configuración y eficiencia en la utilización de recursos. Docker facilita además los procesos de testing, escalado y mantenimiento continuo.

**2.2 Uso de base de datos PostgreSQL**
Se adopta PostgreSQL [5] como motor de base de datos relacional por su madurez, soporte activo, licenciamiento libre y capacidad para manejar transacciones complejas con integridad referencial. Esta elección promueve la compatibilidad con sistemas existentes de la facultad y asegura alta disponibilidad de los datos institucionales.

**2.3 Uso del servidor GitLab institucional**
Todo el desarrollo debe realizarse y gestionarse a través del GitLab [6] provisto por la UTN-FRBA. Esta práctica permite mantener la trazabilidad del código, integrar procesos de revisión colaborativa y cumplir con las políticas de soberanía digital institucionales. Además, se alinea con estrategias de control de versiones y documentación continua.

**2.4 Adopción de tecnologías modernas, seguras y open source**
El sistema debe implementarse utilizando herramientas tecnológicas actuales, con comunidades activas, soporte a largo plazo y licencias abiertas. Esto no solo facilita el acceso a documentación y bibliotecas confiables, sino que también reduce costos de licenciamiento y dependencia de proveedores privativos.

**2.5 Backend en TypeScript**
El backend debe desarrollarse utilizando TypeScript [7], garantizando la consistencia con versiones anteriores del sistema y beneficiándose de sus capacidades de tipado estático, lo que mejora la mantenibilidad y reduce errores en tiempo de compilación. Además, TypeScript se integra naturalmente con frameworks modernos de desarrollo.

**2.6 Autenticación con SSO institucional**
La autenticación de usuarios debe realizarse mediante el sistema Single Sign-On (SSO) institucional ya utilizado por la universidad. Esto garantiza una experiencia unificada para los usuarios, refuerza la seguridad del sistema y evita la duplicación de credenciales, en línea con las políticas TIC universitarias.

**2.7 Integración y despliegue continuo con Jenkins**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



El sistema debe contar con pipelines de CI/CD configurados en Jenkins [8] para automatizar el testeo, la construcción y el despliegue de versiones. Esta práctica permite detectar errores tempranamente, mantener la calidad del software y reducir los tiempos de entrega en cada iteración de desarrollo.

En conjunto, estos requerimientos no funcionales definen el marco tecnológico y metodológico sobre el cual se construye SGE 3.0, asegurando su robustez, sostenibilidad y alineación con las necesidades institucionales.

## 3. Arquitectura y Plataforma Tecnológica del SGE 3.0

El SGE 3.0 fue concebido para operar sobre la infraestructura central de la UTN-FRBA, aprovechando al máximo sus servicios de red, autenticación y seguridad perimetral. Su diseño modular asegura que las funcionalidades críticas, como la gestión académica, las reservas de espacios o el seguimiento de consultas, puedan evolucionar de forma independiente sin comprometer la estabilidad del conjunto.

La capa de presentación y la lógica de negocio se desarrollaron con Next.js [9], permitiendo una integración natural entre el renderizado del lado del cliente y del servidor. Estos componentes se ejecutan en contenedores orquestados con Docker [4] y Docker Compose, lo que habilita una réplica exacta de entornos, facilita el mantenimiento y reduce tiempos de despliegue. El flujo de datos se apoya en PostgreSQL [5] y se gestiona mediante el ORM (Object-Relational Mapping) Prisma [10], garantizando consistencia e integridad incluso en escenarios de alta concurrencia.

El acceso de los usuarios al sistema se encuentra unificado a través del Single Sign-On (SSO) institucional, implementado sobre Keycloak [11]. Este mecanismo no solo centraliza la autenticación, sino que asegura que cada interacción esté respaldada por validaciones de permisos basadas en un esquema RBAC (Role-Based Access Control) con jerarquías y permisos específicos para cada rol.

El diseño de la interfaz web, implementado con React [12] y Tailwind CSS [13], prioriza la simplicidad y la adaptabilidad, manteniendo la experiencia de usuario consistente en distintos dispositivos y resoluciones. La navegación ha sido optimizada a partir de pruebas con diferentes perfiles de usuarios, priorizando el acceso a funciones frecuentes y reduciendo la curva de aprendizaje. El reverse proxy, server Nginx [14], gestionado por la universidad, recibe las peticiones HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure) y las redirige como HTTP (HyperText Transfer Protocol) a los servicios mencionados previamente.

Finalmente, el ciclo de desarrollo y despliegue está soportado por un pipeline de CI/CD (Continuos Integration/Continuos Deployment) que integra GitLab, Jenkins [8] y un registro interno de imágenes, alineando el proyecto con las prácticas de entrega continua y asegurando la calidad en cada actualización del sistema.

En la Figura 2 se presenta un esquema general de la infraestructura del SGE 3.0. El diagrama diferencia la infraestructura interna del departamento, donde se concentran la gestión de datos, los servicios institucionales y la administración del sistema, de los accesos externos a través de internet, utilizados por estudiantes, docentes y personal administrativo. Esta representación permite visualizar de manera general cómo se articulan los distintos componentes internos con las interacciones provenientes del entorno externo, garantizando seguridad, trazabilidad y continuidad operativa.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



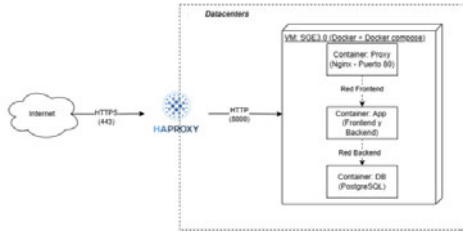



*Figura 2 – Diagrama de infraestructura*

**Resultados**

La implementación del SGE 3.0 permitió consolidar un alto grado de integración y trazabilidad. Los módulos desarrollados, priorizados en función de su impacto institucional, lograron cubrir las necesidades críticas identificadas durante el relevamiento inicial. Se destacan los siguientes logros:

- Reducción significativa en los tiempos de respuesta a solicitudes administrativas, gracias a la digitalización de procesos antes gestionados manualmente.
- Mayor trazabilidad, y más específica a lo que necesita el departamento de electrónica, sobre las tareas realizadas en el sistema de gestión.
- Integración exitosa con sistemas existentes como la infraestructura de red de la UTN-FRBA, sin requerir cambios disruptivos en la configuración central.
- Mayor autonomía en la administración de contenidos y gestión de recursos por parte de las áreas responsables, sin dependencia directa del equipo de desarrollo al brindar funcionalidades de alta, baja y modificación de recursos, estados, entre otras cosas.
- Alta adaptabilidad del sistema ante la incorporación de nuevos módulos o modificaciones en la normativa, gracias a su arquitectura modular y escalable.

Estos resultados demuestran que las decisiones de diseño, tecnología y metodología adoptadas se tradujeron en beneficios operativos y estratégicos para el departamento.

**Conclusión**

El SGE 3.0 logra cumplir con los objetivos establecidos en la fase inicial, ofreciendo una plataforma robusta, segura y adaptable a las demandas del Departamento de Ingeniería Electrónica de la UTN-FRBA. La combinación de un relevamiento exhaustivo, una metodología predictiva y el uso de tecnologías abiertas permitió construir un sistema que no solo resuelve las limitaciones del anterior, sino que también sienta las bases para futuras ampliaciones gracias a su modularidad.

Los resultados obtenidos muestran mejoras tangibles en la gestión de recursos, la comunicación institucional y la calidad de los datos al ofrecer simplicidad en la administración y trazabilidad de los distintos procesos propios del departamento. Además, la arquitectura adoptada facilita la incorporación de nuevas funcionalidades sin afectar la estabilidad del sistema debido a su facilidad de mantenimiento y expansión.

En síntesis, el proyecto demuestra que la reingeniería de sistemas de gestión universitarios, cuando se fundamenta en criterios técnicos sólidos y en la participación activa de los usuarios, puede generar soluciones sostenibles y de alto impacto institucional.

**Agradecimientos**

Se agradece a los profesores de la cátedra de proyecto final que realizan el seguimiento de este trabajo: Gabriela Ines Salem, Roberto Eribe, Silvina Alejandra Novoa, Diego Bresler y Gisela Beatriz Brassesco; al profesor Oscar Bruno, que revisó y aportó a este documento; a Héctor Spataro, Iñaki Manuel Vallecillo y Santiago Palozzo, del departamento de ingeniería electrónica, por la documentación y definiciones proporcionadas y por la retroalimentación del sistema.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias**

[1] EDUCAUSE. Top IT Issues, 2023: Foundation Models. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://er.educause.edu/articles/2022/10/top-10-it-issues-2023-foundation-models

[2] Grand View Research. Student Information System Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component (Software, Service), By Deployment (On-premise, Cloud), By Application, By End-use (K-12, Higher Education), By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-student-information-system-market/29136/

[3]. Pressman, R. S., "Ingeniería del software. Un enfoque práctico", 7a ed., McGraw-Hill, 2010. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=4272

[4] Documentación de Docker. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://docs.docker.com/

[5] Documentación de PostgreSQL. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.postgresql.org/docs/

[6] Documentación de Gitlab. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://docs.gitlab.com/ee/

[7] Documentación de Typescript. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.typescriptlang.org/docs/

[8] Documentación de Jenkins. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.jenkins.io/doc/book/

[9] Documentación de NextJs. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://nextjs.org/docs

[10] Documentación de Prisma. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.prisma.io/docs

[11] Documentación de Keycloak. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://www.keycloak.org/documentation

[12] Documentación de React. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://react.dev/reference/react

[13] Documentación de Tailwind CSS. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://tailwindcss.com/docs/installation

[14] Documentación de NGINX. [Fecha de consulta 8 de agosto de 2025] Disponible en: https://nginx.org/en/docs/

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema Inteligente de Evaluación de Ejercicios Físicos

**Furfaro, Juan María; Casals, Mauricio;**
**Pérez, Hernán Ariel; Guarnieri, Franco**

***Facultad de Ingeniería del Ejército – Universidad de la Defensa Nacional (UNDEF)***

***Buenos Aires. Argentina***

**Abstract**
*Este trabajo propone un sistema inteligente capaz de evaluar la calidad de la ejecución de ejercicios físicos mediante el análisis de videos. Para ello, se implementa una arquitectura de red neuronal que combina una red convolucional (CNN), para la extracción de características espaciales en cada imagen del video, y una red de memoria a largo plazo (LSTM), para capturar la dinámica temporal del movimiento.*
*El sistema es entrenado con un conjunto de videos etiquetados con repeticiones correctas e incorrectas. El objetivo es desarrollar una herramienta aplicable a contextos de evaluación del entrenamiento de ciertas actividades físicas.*

**Palabras Clave**
Redes Neuronales Artificiales, CNN, LSTM, clasificación, ejercicio físico.

## 1. Introducción

La evaluación de ejercicios físicos es una necesidad en el ámbito de la evaluación del desempeño del personal de las Fuerzas Armadas. En este contexto, los avances en Inteligencia Artificial, particularmente en visión por computadora, permiten diseñar modelos que analicen la ejecución humana en video [1]. Este trabajo aborda el problema mediante el uso de redes neuronales profundas que clasifican la calidad de la ejecución de ejercicios simples. A diferencia de los métodos tradicionales que requieren supervisión directa, esta solución propone un enfoque escalable y sin contacto.

A partir de esta problemática, se propone el desarrollo de un Sistema Inteligente que evalúa la calidad de ejecución de diferentes ejercicios físicos a través del análisis de video en el marco de la materia Inteligencia Artificial (quinto año de cursada).

Al extrapolar la técnica, surgen posibles aplicaciones en múltiples escenarios: en el ámbito deportivo profesional, para analizar gestos técnicos y prevenir lesiones; en la educación física escolar, para asistir a los docentes en la corrección automática de posturas; en la rehabilitación médica, donde el sistema podría monitorear rutinas de kinesiología y retroalimentar al paciente en tiempo real; y en la vida cotidiana, integrando la tecnología en dispositivos móviles o *wearables* que asistan a las personas en sus entrenamientos hogareños. Estas potenciales extensiones muestran que el enfoque CNN+LSTM no solo contribuye a la evaluación militar, sino que también ofrece un marco general aplicable a distintos contextos donde la calidad del movimiento sea relevante.

En este contexto, en la sección 2 se presentan los elementos del trabajo y la metodología utilizada. En la sección 3 se muestran los resultados de la implementación realizada junto con su análisis en la sección 4. Finalmente, se presenta una conclusión con las futuras líneas de trabajo en la sección 5.

## 2. Elementos del Trabajo y Metodología

En esta sección se describen los datos utilizados para el entrenamiento (sección 2.1) y la forma de implementación (sección 2.2**).**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### 2.1 Datos y Preprocesamiento

Los videos se organizan en carpetas por clase (p. ej., data/correcto/ e data/incorrecto/). Cada muestra es un clip de T=16 frames muestreados uniformemente; los frames se reescalan y normalizan antes de ingresarlos al modelo. El particionado se realiza 80/20 (train/valid) con semilla fija para reproducibilidad.

### 2.2 Implementación

El sistema propuesto se basa en una arquitectura que combina una Red Neuronal Convolucional (CNN) [2] como extractor espacial y una Long Short-Term Memory (LSTM) [3] para modelado temporal, siguiendo el enfoque LRCN para análisis de video [4]. La CNN procesa cada frame y produce un vector de características; la LSTM recibe la secuencia de estos vectores y entrega la predicción final por clip. Dicho flujo puede observarse en la Figura Nro 1 donde se muestra la arquitectura implementada.

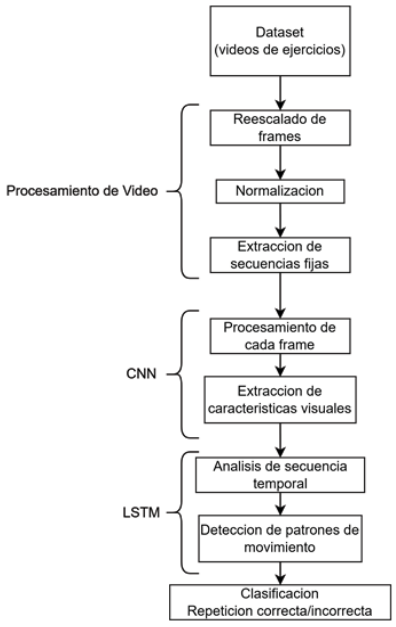



*Figura Nro 1 - Arquitectura Implementada*

El modelo está desarrollado en Python [5] con PyTorch/torchvision. El encoder CNN utiliza ResNet-18 con pesos preentrenados; se elimina la capa de clasificación y se usa el vector posterior al promedio global. Sobre la secuencia de vectores por frame se aplica una LSTM (tamaño oculto 256, 1 capa) y un clasificador lineal con dropout. Se entrena con AdamW ($lr \approx 1e\text{-}4$) y CrossEntropy con ponderación por clase; se emplean CosineAnnealingLR, gradient clipping ($\|g\| \leq 1.0$) y early stopping.

## 3. Resultados

Al momento de esta entrega, se cuenta con una arquitectura funcional capaz de procesar los videos y generar predicciones binarias (correcto/incorrecto). Durante las pruebas preliminares se observó que el modelo logra diferenciar entre ejecuciones adecuadas y deficientes de flexiones de brazos. El desempeño se midió en términos de accuracy y F1 ponderado en el conjunto de validación, alcanzando valores satisfactorios considerando el tamaño reducido del dataset, como se observa en la Tabla Nro 1.

| Métrica | Entrenamiento | Validación |
|---|---|---|
| Accuracy | 0,92 | 0,88 |
| F1 ponderado | 0,91 | 0,87 |
| Loss | 0,28 | 0,34 |

*Tabla Nro 1 - Métricas preliminares de entrenamiento y validación*

A modo ilustrativo, en la Figura 2 y la Figura 3 se muestran frames correspondientes a una flexión correcta: en la posición inferior el cuerpo mantiene alineación y en la posición superior los codos se extienden completamente. La salida de la red confirma la clasificación 'CORRECTA' con alta confianza.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





*Figura Nro 2 - Posición inferior de la flexión*



*Figura Nro 3 - Posición superior de la flexión*

A modo ilustrativo, en la Figura 4 y la Figura 5 se muestran frames correspondientes a una flexión incorrecta. En la posición superior (Figura 4) se observa una extensión excesiva de la cadera, lo que rompe la alineación natural del cuerpo. Mientras que en la posición inferior (Figura 5) el cuerpo descansa sobre el suelo sin mantener tensión muscular ni ángulos correctos de flexión.

La Figura Nro 6 muestra la consola de inferencia de la clasificación ´CORRECTA´, donde se visualizan las probabilidades asignadas por los modelos top y bottom a cada clase, junto con la decisión final. Por otro lado en la figura Nro 7, la salida de la red confirma la clasificación 'INCORRECTA' con alta confianza.



*Figura Nro 4 – Posición superior de la flexión incorrecta*

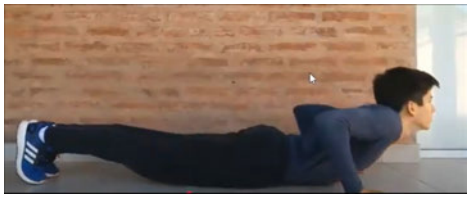


*Figura Nro 5 – Posición inferior de la flexión incorrecta*

En [6] se presenta el repositorio de código del proyecto.

## 4. Discusión

Los resultados confirman que la combinación de CNN y LSTM constituye un enfoque sólido para evaluar la calidad de la ejecución de ejercicios físicos en video. El modelo logró capturar de manera efectiva tanto la postura corporal en cada fotograma como la secuencia temporal del movimiento, lo que lo vuelve especialmente apto para ejercicios repetitivos como las flexiones.

No obstante, también se identificaron limitaciones relevantes. El sistema mostró sensibilidad a variaciones en la velocidad de ejecución y a cambios en la posición de la cámara, lo que puede afectar su consistencia en entornos no controlados. Además, el reducido tamaño del dataset

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



restringe su capacidad de generalización a diferentes usuarios y condiciones.

Estos hallazgos evidencian que, si bien el enfoque es prometedor, todavía requiere ajustes para mejorar su robustez y escalabilidad. En particular, la generación de datos sintéticos, la incorporación de técnicas de detección de pose y la ampliación del conjunto de métricas evaluadas se presentan como estrategias adecuadas para fortalecer el modelo.

## 5. Conclusión

Este trabajo demuestra la viabilidad de implementar un sistema inteligente basado en CNN y LSTM para clasificar la correcta ejecución de ejercicios físicos a partir de videos. La propuesta constituye un avance hacia soluciones de evaluación automatizada que pueden aplicarse en contextos de entrenamiento remoto o como herramienta de apoyo para el autocontrol de los deportistas.

Los resultados preliminares validan la factibilidad técnica del enfoque y confirman que es posible obtener predicciones satisfactorias aun con un conjunto de datos acotado. A partir de aquí, el desafío se orienta a incrementar la precisión, optimizar la eficiencia computacional y ampliar la cobertura del sistema a una mayor diversidad de ejercicios y escenarios.

En síntesis, el proyecto abre un camino hacia aplicaciones prácticas de la inteligencia artificial en el ámbito deportivo y de la preparación física, con potencial para escalar a contextos más complejos y poblaciones más amplias en futuros desarrollos.

**Agradecimientos**
Este proyecto fue supervisado por la profesora Cinthia Vegega, a cargo de la cátedra de Inteligencia Artificial de la Facultad de Ingeniería del Ejército.

**Referencias**

[1] Build an AI/ML Tennis Analysis system with YOLO, PyTorch, and Key Point Extraction. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=L23oIHZE14w&list=WL&index=78&t=39s&ab_channel=CodeInaJiffy
[2] K. Simonyan, A. Zisserman. “Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition.” 2014.
[3] S. Hochreiter, J. Schmidhuber. “Long Short-Term Memory.” Neural Computation, 1997.
[4] Donahue, J. et al., “Long-Term Recurrent Convolutional Networks for Visual Recognition and Description,” *CVPR*, 2015.
[5] Van Rossum, G., & Drake, F. L. *Python 3 Reference Manual*. Python Software Foundation. 2009 Disponible en: https://docs.python.org/3/
[6] Repositorio del proyecto (código fuente y videos experimentales): https://github.com/juanmariafurfaro/ProyectoIA.
[7] Shorten, C.; Khoshgoftaar, T., “A survey on Image Data Augmentation for Deep Learning,” *Journal of Big Data*, 2019.

**Datos de contacto**

*Juan María Furfaro. FIE - UNDEF. jfurfaro@fie.undef.edu.ar.*
*Mauricio Casasls. FIE - UNDEF. mcasals@fie.undef.edu.ar.*
*Hernán Ariel Pérez. FIE - UNDEF. hperez@fie.undef.edu.ar.*
*Franco Guarnieri. FIE - UNDEF. fguarnieri@fie.undef.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



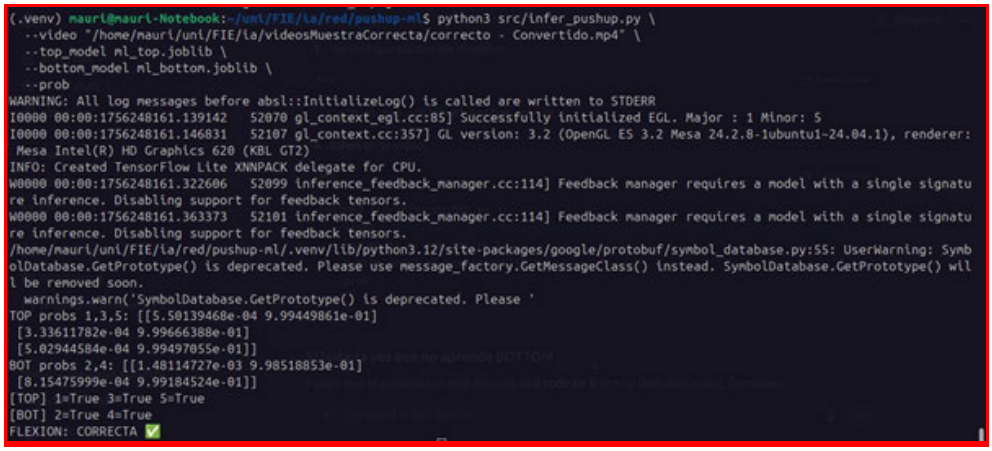



*Figura Nro 6 - Salida de la consola de inferencia (clasificación correcta).*

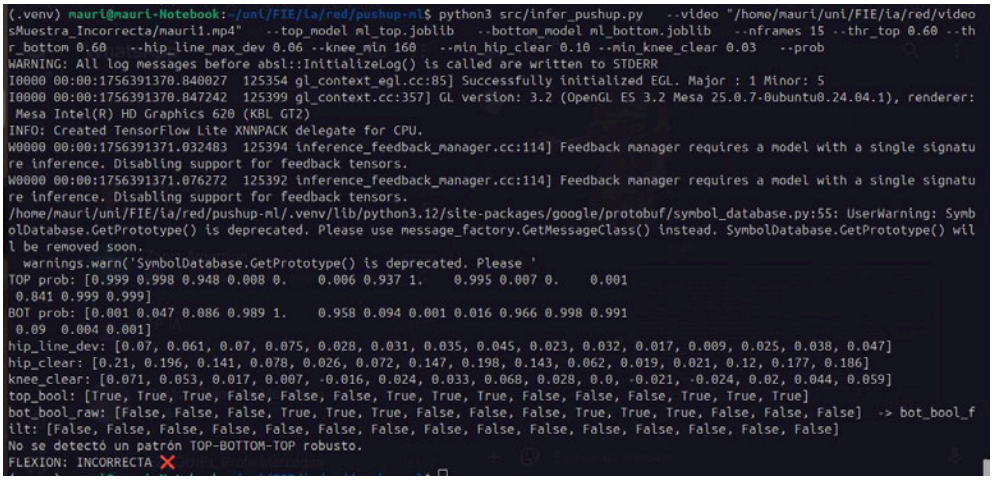



*Figura Nro 7 - Salida de la consola de inferencia (clasificación incorrecta).*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Resolución generalista de rompecabezas tridimensionales mediante aprendizaje profundo y heurísticas

**Fait Juan Galo, Gimenez Agustin Hugo,**
**Herrera Ocampo Martín, Revetria Matías**
***Facultad de ingeniería del ejército (FIE)***

**Abstract**
*Este proyecto propone el diseño y desarrollo de un sistema de Inteligencia Artificial capaz de aprender a resolver rompecabezas mecánicos tridimensionales sin requerir la codificación explícita de sus reglas o algoritmos de solución.*
*A diferencia de enfoques tradicionales que dependen de algoritmos específicos para cada tipo de rompecabezas, esta investigación plantea un modelo generalista basado en aprendizaje profundo, con capacidad de adquirir estrategias de resolución mediante entrenamiento en entornos simulados. El enfoque combina redes neuronales profundas y aprendizaje por refuerzo.*
*Los resultados permitirán analizar el alcance y las limitaciones de las arquitecturas de aprendizaje general en tareas de planificación simbólica y su potencial aplicación a problemas más complejos en otras áreas.*

**Palabras Clave**
Inteligencia Artificial, Deep Learning, Heurísticas, Rubik, Megaminx, Pyraminx, Resolución Automatizada, Redes Neuronales Artificiales.

## 1. Introducción

Este trabajo, desarrollado en el marco de la asignatura Inteligencia Artificial (quinto año de cursada), propone un sistema de IA basado en deep learning, el cual se define como "*una rama del machine learning que utiliza redes neuronales artificiales de múltiples capas para aprender representaciones jerárquicas de los datos*" [1], y heurísticas para resolver rompecabezas tridimensionales tipo Rubik en sus distintas variantes (2x2, 3x3, 4x4, Megaminx, Pyraminx, Skewb).

La IA aprende patrones a partir de datos simulados y aplica heurísticas para optimizar el proceso de resolución. A diferencia de métodos clásicos, este enfoque permite adaptarse a estructuras más complejas sin necesidad de programación específica para cada tipo de rompecabezas. Se busca evaluar su eficacia, escalabilidad y velocidad de resolución. El enfoque busca demostrar el potencial del aprendizaje profundo en la resolución de problemas combinatorios [2]. En este contexto, en la sección 2 se presentan los elementos del trabajo y la metodología que se utiliza. En la sección 3 se muestran los resultados de la implementación del sistema junto con su análisis en la sección 4. Finalmente, se presenta una conclusión con las futuras líneas de trabajo en la sección 5.

## 2. Elementos del Trabajo y Metodología

El desarrollo del presente trabajo requiere la selección de un conjunto de herramientas que permitan abordar tanto la representación del problema, como la exploración de soluciones ya conocidas.
Las tecnologías y librerías que usamos durante el proyecto fueron:

**Python:** como lenguaje principal del sistema (utilizado ampliamente en investigación con inteligencia artificial gracias a su fácil curva de aprendizaje y amplia selección de librerías para este área) [3].

**Pycuber:** librería para representar y manipular cubos de Rubik en Python (sirve para simular estados, verificar si está resuelto, y generar scrambles) [4].

**Kociemba:** implementación del algoritmo de Kociemba (solver clásico de 3×3) para comparativas [5].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Tkinter:** librería estándar de Python para GUI [6].

**Pyglet + PyOpenGL:** usados para la visualización 3D del cubo [7, 8].

**PyTorch:** framework de Deep Learning NumPy, tqdm, sympy, networkx (librerías de uso cotidiano para trabajar con estructuras de datos tales como grafos y matrices) [9].

Durante el desarrollo se emplearon herramientas de resolución tradicional, como el algoritmo de Kociemba, con fines de estudio y comparación heurística. Además, se emplearon herramientas más avanzadas orientadas al aprendizaje automático, que constituyen el foco principal del proyecto.

Para el desarrollo del proyecto se modeló la estructura del cubo 3x3 utilizando la librería PyCuber, que permite representar estados y movimientos. Para el mismo se empleó la notación característica y conocida de los movimientos del cubo, siendo U(up) B(back) F(front) L(left) R(right) D(down) movimientos de las respectivas caras 90° en sentido horario mientras que U' B' F' L' R' D' representan los mismos movimientos en sentido anti-horario como puede verse en la figura 1.

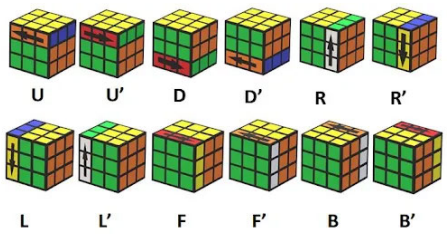


Figura 1: notación de movimientos rubik

Para el modelado de este rompecabezas y otros, se optó por realizar una interfaz con las funciones que debe poseer cada uno para posteriormente ser entrenado.

```
class BasePuzzleEnv(ABC):
“””Interfaz mínima para puzzles tipo Rubik."""

def reset_to_solved(self)
“””resetea el estado a resuelto”””

def scramble(self, n_moves: int)
“””Aplica una serie de movimientos que mezcla el rompecabezas”””

def is_solved(self)
“””Función booleana que verifica si el cubo está resuelto”””

def legal_actions(self) -> List[int]: ...
“””Función que guarda los movimientos válidos del rompecabezas”””

def step(self, action: int) -> None: ...
“””Función que aplica un movimiento en el rompecabezas”””

def copy(self) -> "BasePuzzleEnv"
“””Función que devuelve una copia del estado actual del cubo”””

def state_embedding(self)
“””Función para mapear el estado del cubo con valores numéricos para servir a la red neuronal”””

def action_to_move(self, action: int)
“””Función que traduce los movimientos de la red a notación estándar”””
```

## 3. Resultados

El modelo demuestra buena capacidad de generalización entre distintos casos iniciales del cubo (Figura 2).
La cantidad de movimientos fue cercana a soluciones óptimas. Estos resultados validan la efectividad del enfoque propuesto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



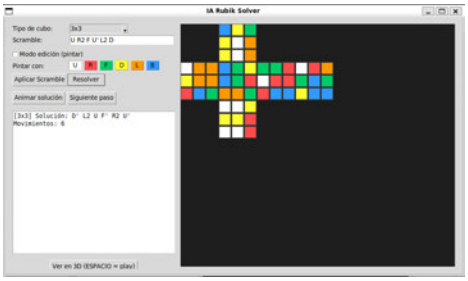



Figura 2: ejemplo del sistema resolviendo un caso desordenado

Según se ve en la Figura 3, se obtuvo una alta tasa de éxito en la mayoría de los casos, con tiempos de resolución aceptables para el modelo entrenado basado en el entorno de prueba hecho. Con una tasa de resolución correcta en el 96,5% de los intentos.




Figura 3: Output de entrenamiento del modelo

El sistema logra resolver exitosamente cubos de Rubik 3x3 en configuraciones aleatorias (Figura 4).

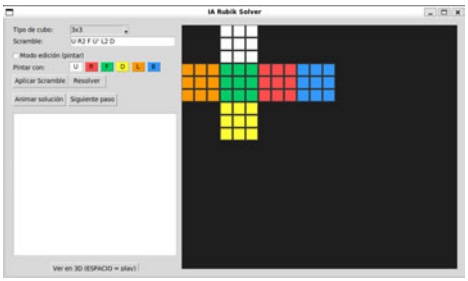



Figura 4: interfaz gráfica del sistema

En [10] se presenta el repositorio de código del proyecto.

## 4. Discusión

Los resultados evidencian que la combinación de deep learning y heurísticas constituye una estrategia efectiva para la resolución de cubos de Rubik. En comparación con algoritmos tradicionales como IDA* o Kociemba, este enfoque no requiere un alto uso de programación manual de estrategias específicas, lo que lo hace más flexible ante distintas variantes del cubo. Sin embargo, se observó que el rendimiento disminuye levemente en cubos con mayor número de piezas, lo que sugiere la necesidad de entrenamientos más extensos o arquitecturas más especializadas.

## 5. Conclusión

Este trabajo demostró que es posible resolver diferentes variantes del cubo de Rubik utilizando *deep learning* con apoyo heurístico.

El sistema logró buenos resultados en términos de precisión y adaptabilidad, especialmente en cubos de menor complejidad. La combinación de redes neuronales profundas con heurísticas específicas permitió reducir el espacio de búsqueda y mejorar la eficiencia.

Se concluye que este enfoque es una solución escalable y prometedora para resolver rompecabezas combinatorios, con potencial de mejora mediante nuevas técnicas de entrenamiento y optimización. Futuras mejoras podrían incluir técnicas de refuerzo o aprendizaje auto-supervisado para optimizar aún más los resultados.

En esta versión se abordó exclusivamente la resolución de cubos 3x3 por motivos de simplicidad, ya que el sistema aún se encuentra en fases iniciales de desarrollo.

En versiones futuras se planea desarrollar modelos de IA capaces de resolver otros tipos de cubos, como 4x4, 5x5 o Pyraminx. El sistema fue concebido desde el inicio como una arquitectura fácilmente escalable, dado que al mismo se le pueden integrar más módulos que implementen las funciones de la interfaz previamente explicada, lo que lo convierte en una posible solución general al problema de resolución de rompecabezas tridimensionales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Agradecimientos**
Agradecemos por brindar la oportunidad y dar seguimiento a este proyecto a la profesora Cinthia Vegega, a cargo de la cátedra de Inteligencia Artificial de la Facultad de Ingeniería del Ejército.
Agradecemos a la **Facultad de Ingeniería del Ejército** por el apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo.

**Referencias**

[1] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

[2] Forest Agostinelli, Stephen McAleer, Alexander Shmakov and Pierre Baldi. (2018). [*Solving the Rubik's Cube Without Human Knowledge*. arXiv preprint arXiv:1805.07470.

[3] Página oficial del lenguaje de programación Python: https://www.python.org/

[4] PyCuber, adrianliaw(2015). Disponible en: https://github.com/adrianliaw/PyCuber

[5] Kociemba, H. (1992). *Cube Explorer*. Disponible en: https://kociemba.org/cube.htm

[6] Documentación oficial de Tkinter disponible en: https://docs.python.org/es/3/library/tkinter.html

[7]Repositorio del paquete PIP de PyOpenGL: https://pypi.org/project/PyOpenGL/

[8] Página oficial de Pyglet: https://pyglet.org/

[9] PyTorch. (2024). *PyTorch Documentation*. Disponible en: https://pytorch.org/

[10] Repositorio del Proyecto. Disponible en: https://github.com/CoNaIISI2025/RubikAI-Solver

**Datos de Contacto:**
*Juan Galo Fait - jfait@fie.undef.edu.ar*
*Agustin Hugo Gimenez - agimenez@fie.undef.edu.ar*
*Matias Andres Revetria - marevetria@fie.undef.edu.ar*
*Herrera Ocampo Martín - mherreraocampo@fie.undef.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Apoyo al Diagnóstico de Afecciones Neurológicas con Redes Neuronales, Lógica Difusa y Sistemas Expertos

**Majul, Santiago; Llobeta, Juan Lucas; Lavalle, Juan Martin**

***Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Tucumán***

**Resumen**

*El diagnóstico temprano y preciso de afecciones neurológicas como tumores cerebrales y la enfermedad de Alzheimer es crucial para mejorar la esperanza y la calidad de vida de los pacientes. El diagnóstico a partir de imágenes por resonancia magnética (MRI, por sus siglas en inglés) es un proceso complejo, susceptible a la variabilidad y al error humano. Este proyecto propone el desarrollo conceptual de una herramienta de software innovadora diseñada para asistir y dar apoyo a los neurólogos en el proceso de interpretación de imágenes y toma de decisiones. Esta integra tres sistemas de Inteligencia Artificial: una Red Neuronal Convolucional (CNN) para la clasificación de imágenes de IRM, un sistema de Lógica Difusa para gestionar la incertidumbre inherente al diagnóstico y un Sistema Experto para proveer recomendaciones clínicas. El objetivo es crear una herramienta robusta que no solo clasifique las imágenes con alta precisión, sino que también reconozca su propio grado de certeza sobre el diagnóstico y sugiera los siguientes pasos clínicos, aumentando la confianza y eficiencia del especialista.*

**Palabras Clave:**

Inteligencia Artificial, Redes Neuronales Convolucionales, Lógica Difusa, Sistemas Expertos, Diagnóstico Médico, Tumores Cerebrales, Alzheimer.

## 1. Introducción

Las enfermedades neurológicas representan uno de los mayores desafíos para la medicina moderna. En particular, los tumores cerebrales y la enfermedad de Alzheimer son dos de las afecciones con mayor impacto. [1][2] La detección de un tumor cerebral en sus etapas iniciales puede ser la diferencia entre un tratamiento exitoso y un pronóstico fatal. De manera similar, un diagnóstico temprano de Alzheimer permite iniciar terapias para ralentizar su progresión y planificar cuidados futuros.

El estándar para la visualización y detección de estas patologías son las Imágenes por Resonancia Magnética (MRI). Su análisis requiere de radiólogos y neurólogos altamente especializados, y la interpretación puede ser subjetiva y siempre existe el riesgo de diagnósticos tardíos o erróneos.

En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) puede ser una poderosa aliada para reducir el error humano y apoyar a los médicos en la interpretación, el diagnóstico y la toma de decisiones. Específicamente, las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) han demostrado un éxito notable en la clasificación de imágenes médicas. [3]. Sin embargo, una clasificación categórica (“tumor” o “no tumor” - “Alzheimer” o “no Alzheimer”) suele ser insuficiente en la mayoría de los casos y puede llevar a mayores errores si se presenta una única respuesta de forma categórica y sin el debido contexto.

Este proyecto aborda dicha limitación proponiendo una arquitectura híbrida que integra:

Redes Neuronales: para la extracción automática de características y clasificación de imágenes de MRI.

Lógica Difusa: para modelar la incertidumbre y la vaguedad de los resultados, transformando las probabilidades numéricas de la CNN en términos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



lingüísticos y desglosando la confianza en la respuesta.

Sistemas Expertos: para encapsular el conocimiento de un especialista y generar recomendaciones de acción a partir de la salida del sistema difuso.

El objetivo de este proyecto es presentar el diseño conceptual de una herramienta que busca mejorar la precisión, consistencia y eficiencia del diagnóstico neurológico por imágenes.

## 2. Trabajos Relacionados

El uso de CNNs para la clasificación de imágenes médicas está bien estudiado y establecido. Estudios como los de Gao et al. (2022) [4] han logrado altas precisiones en la detección de tumores cerebrales utilizando un modelo de aprendizaje profundo (Deep Learning), el cual demostró "un mejor rendimiento que los neuro-radiólogos en la clasificación e identificación de tumores cerebrales". De forma similar, en el campo del Alzheimer, múltiples investigaciones han empleado CNNs para diferenciar entre las distintas etapas de la enfermedad con resultados prometedores (Jo et al., 2019) [5].

Los sistemas expertos basados en lógica difusa han demostrado ser herramientas eficaces en el ámbito médico, especialmente en contextos donde la incertidumbre y la ambigüedad son inherentes al proceso diagnóstico. Estos sistemas permiten manejar información imprecisa de manera más natural, tal como lo haría un profesional de la salud. Un ejemplo destacado es su aplicación en el diagnóstico de enfermedades crónicas como la diabetes y patologías cardíacas. Al incorporar reglas difusas y razonamiento experto, estos sistemas mejoran la capacidad de asistencia en la toma de decisiones clínicas, reduciendo errores y apoyando al médico en situaciones complejas. [6]

La mayoría de estos proyectos e investigaciones se enfocan en una sola de estas tecnologías. La innovación principal de esta propuesta radica en la integración y el trabajo conjunto de los tres enfoques. Mientras la CNN provee una potente capacidad de análisis perceptual, el sistema difuso añade una capa de interpretación de la incertidumbre, y el sistema experto contextualiza los hallazgos en un marco de conocimiento clínico, ofreciendo una propuesta de solución más completa y alineada con el flujo de trabajo del médico.

## 3. Metodología Propuesta

El sistema se concibe como un flujo de trabajo modular e integrado, como se ilustra en la Figura 1.

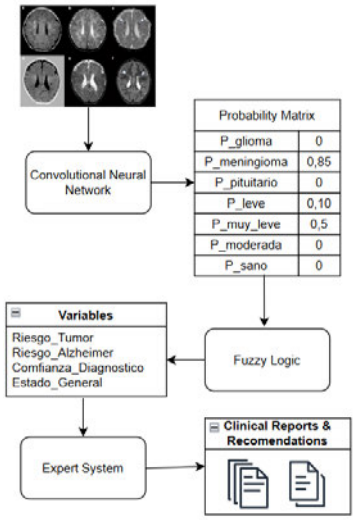



*Figura 1 – Arquitectura Conceptual del Sistema Integrado*

### 3.1. Módulo 1: Clasificación con Red Neuronal Convolucional (CNN)

La función de este componente es analizar una imagen de MRI cerebral y clasificarla en alguna de las distintas categorías predefinidas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Datasets**: se utilizarán dos repositorios públicos de Kaggle:

Medical Image Dataset - Brain Tumor Detection: contiene más de 3900 imágenes segmentadas en cuatro clases: glioma, meningioma, tumor pituitario y sin tumor. [7]

Alzheimer's Classification Dataset: incluye más de 10800 imágenes categorizadas según cuatro estadios de la enfermedad: Sin Demencia, Demencia Muy Leve, Demencia Leve y Demencia Moderada. [8]

**Unificación y normalización:** es fundamental para el éxito del proyecto unir ambos datasets y normalizar las imágenes para qué todas tengan una estructura similar. Esta tarea conlleva un importante volumen de tiempo pero es esencial para garantizar el buen funcionamiento de la CNN. Se realizarán técnicas de pre-procesamiento estándar como normalización, redimensionamiento a 224x224 píxeles y aumento de datos (rotaciones, zooms, volteos) para mejorar la robustez del modelo.

**Arquitectura:** las imágenes de ambos datasets se unificarán en un conjunto de datos consolidado con las siguientes clases: Glioma, Meningioma, Tumor Pituitario, los cuatro estados de Alzheimer y Paciente Sano. Se propone utilizar una arquitectura de CNN pre-entrenada como ResNet-50 o VGG-16, aprovechando el aprendizaje por transferencia (transfer learning) para lograr un alto rendimiento con un tiempo de entrenamiento reducido.

**Salida:** la salida de este módulo para una imagen de entrada será un vector de probabilidades qué indique el posible nivel de pertenencia de la imagen a cada uno de los grupos previamente definidos. Por ejemplo: {Glioma: 0.85, Meningioma: 0.05, Demencia Leve: 0.05, Sano: 0.05}.

### 3.2. Módulo 2: Sistema de Inferencia Difuso

A partir de las salidas obtenidas en el módulo anterior, el sistema difuso propuesto traduce las probabilidades numéricas en conceptos cualitativos que permitan interpretar la incertidumbre y las posibilidades de error contenidas en el sistema. Este paso es crucial para pasar de una clasificación puramente cuantitativa a una evaluación cualitativa del riesgo, similar al razonamiento humano.

**Entradas (Variables Lingüísticas):** las entradas son las probabilidades arrojadas por la CNN para cada una de las 7 clases de salida. Denominamos a estas variables como:

- P_glioma, P_meningioma, P_pituitario (para los tipos de tumor).
- P_muy_leve, P_leve, P_moderada (para los estadios de Alzheimer y la normalidad).
- P_sano para pacientes que no presenten signos de ninguna afección.

**Funciones de Pertenencia:** para cada variable de entrada, se definen tres conjuntos difusos: Baja, Media y Alta. Estos conjuntos permiten que una probabilidad numérica (ej. 0.65) pueda pertenecer parcialmente a más de un conjunto (ej. 70% a Media y 30% a Alta), modelando así la vaguedad.

**Salidas (Variables Lingüísticas):** El sistema generará cuatro variables de salida cualitativas que resumen el estado del paciente:

- Riesgo_Tumoral: {Nulo, Bajo, Moderado, Elevado}
- Riesgo_Alzheimer: {Nulo, Incipiente, Establecido, Avanzado}
- Confianza_Diagnostico: {Baja, Media, Alta}

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Estado_General: {Sano, Patológico, Incierto}

**Base de Reglas Difusas (Desglose):** se crea un conjunto de reglas IF-THEN que son evaluadas en paralelo.

Para simplificar, primero se agregan las probabilidades de patologías similares. De esta forma se obtiene el valor de dos variables intermedias:

- Prob_Tumor: {Baja, Media, Alta}
- Prob_Deterioro_Cognitivo: {Baja, Media, Alta}

Reglas de Agregación (ejemplos):

| IF | THEN |
|---|---|
| P_glioma es Alta AND P_meningioma es Alta | Prob_Tumor es Alta |
| P_leve es Alta AND P_moderada es Alta | Prob_Deterioro_Cognitivo es Alta |

*Cuadro 1 – Variables Intermedias*

**Reglas de Inferencia:** a continuación se detallan algunos escenarios a modo de ejemplo del funcionamiento de las reglas de inferencia establecidas.

Escenario 1: Hallazgo tumoral claro.

- IF (Prob_Tumor es Alta)
- AND (Prob_Deterioro_Cognitivo es Baja)
- AND (P_sano es Baja)
- THEN (Riesgo_Tumoral es Elevado)
- AND (Riesgo_Alzheimer es Nulo)
- AND (Confianza_Diagnostico es Alta)
- AND (Estado_General es Patológico)

Escenario 2: Hallazgo claro de Alzheimer.

- IF (Prob_Tumor es Baja)
- AND (P_leve es Alta OR P_moderada es Alta)
- THEN (Riesgo_Tumoral es Nulo)
- AND (Riesgo_Alzheimer es Establecido)
- AND (Confianza_Diagnostico es Alta)
- AND (Estado_General es Patológico)

Escenario 3: Hallazgo de Alzheimer Incipiente.

- IF (Prob_Tumor es Baja)
- AND (P_muy_leve es Alta)
- AND (P_sano es Baja)
- THEN (Riesgo_Tumoral es Nulo)
- AND (Riesgo_Alzheimer es Incipiente)
- AND (Confianza_Diagnostico es Media)
- AND (Estado_General es Patológico)

Escenario 4: Paciente Sano.

- IF (P_sano es Alta)
- AND (Prob_Tumor es Baja)
- AND (Prob_Deterioro_Cognitivo es Baja)
- THEN (Riesgo_Tumoral es Nulo)
- AND (Riesgo_Alzheimer es Nulo)
- AND (Confianza_Diagnostico es Alta)
- AND (Estado_General es Sano)

Escenario 5: Diagnóstico Incierto (Conflicto entre patologías).

- IF (Prob_Tumor es Media)
- AND (Prob_Deterioro_Cognitivo es Media)
- THEN (Riesgo_Tumoral es Moderado)
- AND (Riesgo_Alzheimer es Incipiente)
- AND (Confianza_Diagnostico es Baja)

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



– AND (Estado_General es Incierto)

### 3.3. Módulo 3: Sistema Experto

Este módulo final actúa como un "consultor virtual", utilizando la salida cualitativa y contextualizada del sistema difuso para generar recomendaciones prácticas al usuario.

**Base de Conocimiento:** consiste en un conjunto de reglas de producción IF-THEN que encapsulan el conocimiento de un neurólogo experto. Estas reglas son disparadas por los hechos generados por el Sistema Difuso del módulo anterior.

**Desglose de Reglas del Sistema Experto (basada en los ejemplos representativos del punto anterior):**

Regla SE-1 (Riesgo Tumoral Elevado):

La recomendación es “Hallazgos de alta sospecha de tumor cerebral. Prioridad alta. Se sugiere correlacionar con clínica del paciente, solicitar más estudios y consulta con neurocirugía para evaluación de posible biopsia.”

Regla SE-2 (Riesgo Alzheimer Establecido):

La recomendación es “Patrón de atrofia severo, compatible con Enfermedad de Alzheimer. Enfocar manejo en tratamiento sintomático, cuidados de soporte y apoyo al entorno familiar/cuidador.”

Regla SE-3 (Riesgo Alzheimer Incipiente):

La recomendación es “Atrofia cortical consistente con Enfermedad de Alzheimer en estadio leve. Se recomienda iniciar o ajustar tratamiento para ralentizar progresión sintomática, realizar seguimiento clínico y planificar cuidados futuros.”

Regla SE-4 (Estado Sano Confirmado):

La recomendación es “Estudio de neuroimagen dentro de los límites normales para las patologías analizadas. Si los síntomas persisten se recomienda realizar otros estudios.”

Regla SE-5 (Diagnóstico Incierto):

La recomendación es “Diagnóstico por imagen no concluyente. Se observan hallazgos ambiguos o en conflicto entre posibles patologías. Se sugiere una revisión del caso por un segundo especialista y considerar secuencias de MRI adicionales para un mejor diagnóstico.”

**Motor de Inferencia y Salida:** el motor de inferencia utiliza un encadenamiento hacia adelante para aplicar las reglas a los hechos generados por el Sistema Difuso. La salida final es un informe de texto claro y conciso para el médico, que integra la clasificación más probable de la CNN, la evaluación de riesgo y confianza del Sistema Difuso, y la recomendación accionable generada por el Sistema Experto.

## 4. Proceso de Implementación Conceptual

El desarrollo del proyecto propuesto para su implementación se plantea en cuatro fases:

Fase 1 - Entrenamiento de la CNN: adquisición y unificación de los datasets. Pre-procesamiento de las imágenes. Elección, entrenamiento y ajuste fino (fine-tuning) de la red. Validación del modelo para asegurar una precisión superior al 95% en el conjunto de prueba.

Fase 2 - Diseño del Sistema Difuso: en colaboración conceptual con médicos y expertos, definir las funciones de pertenencia y la base de reglas difusas para traducir adecuadamente las probabilidades de la red en términos clínicos significativos.

Fase 3 - Construcción del Sistema Experto: definir la base de conocimiento con reglas clínicas robustas que cubran los posibles

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



resultados del sistema difuso, proveyendo recomendaciones valiosas.

Fase 4 - Integración y Validación: desarrollar las interfaces de software para que los módulos se comuniquen de forma secuencial. Validar el sistema completo con un conjunto de casos de prueba, verificando que la recomendación final sea coherente y clínicamente relevante.

## 5. Conclusiones

Este proyecto presenta un sistema híbrido de Inteligencia Artificial que integra de manera innovadora redes neuronales convolucionales, lógica difusa y sistemas expertos.

La propuesta va más allá de la simple clasificación de imágenes, buscando ofrecer un sistema completo de apoyo a la decisión clínica para neurólogos. Al transformar las salidas numéricas de la CNN en juicios cualitativos mediante lógica difusa y luego contextualizarlas con reglas expertas, el sistema permite interpretar resultados con mayor claridad clínica y practicidad. Esta herramienta tiene el potencial de reducir la incertidumbre diagnóstica, minimizar errores, estandarizar la evaluación y mejorar la eficiencia del personal médico.

Es fundamental recalcar que este sistema integrado se concibe como una herramienta de asistencia y apoyo médico y no como un sustituto del juicio clínico del profesional de la salud.

## 6. Trabajos Futuros

El potencial de este trabajo puede expandirse en varias direcciones a futuro. Algunos ejemplos:

- Ampliación del alcance diagnóstico: incorporar nuevas patologías neurológicas al sistema, como esclerosis múltiple, infartos cerebrales, etc. mediante la integración de datasets específicos que permitan entrenar y ajustar el modelo a estos casos.
- Integración de datos multimodales: complementar la información visual con variables clínicas relevantes, como edad, sexo, antecedentes médicos y resultados de pruebas neurocognitivas, con el objetivo de aumentar la precisión diagnóstica y personalizar el análisis.
- Desarrollo de una interfaz de usuario clínica: diseñar una aplicación con interfaz gráfica intuitiva, orientada a profesionales de la salud, que permita cargar estudios, visualizar resultados interpretables y acceder a recomendaciones automatizadas de forma clara y eficiente.
- Validación clínica en entornos reales: realizar estudios retrospectivos y prospectivos en colaboración con neurólogos, para medir el impacto del sistema en la práctica médica, evaluando mejoras en la precisión diagnóstica, la reducción de tiempos y la aceptación por parte del personal clínico.

## 7. Referencias

[1] L. Yang, Y. Zhang, Y. Wang, Y. Ji, Y. Sun, and J. Ma, “Burden and trends of brain and central nervous system cancer from 1990 to 2019: a global analysis,” *Archives of Public Health*, vol. 80, no. 1, pp. 1–13, 2022.

[2] J. Weller *et al.*, “Global, regional, and national burden of stroke, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016,” *The Lancet Neurology*, vol. 18, no. 5, pp. 439–458, 2019.

[3] A. R. Adeli *et al.*, “Association Between Clinical, Imaging, and Demographic Variables and Diagnostic Accuracy in Dementia,” *JAMA Network Open*, vol. 5, no. 7, e2221080, Jul. 2022.

[4] S. J. Deshmukh and M. B. Gavhane, “Classification of Brain Tumor using Hybrid Deep Learning Approach,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 2022.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[5] T. Jo, K. Nho, and A. J. Saykin, "Deep learning in Alzheimer's disease: patient classification and prognostic prediction using neuroimaging data," *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 11, p. 220, 2019.

[6] N. H. Phuong and V. Kreinovich, "Fuzzy logic and its applications in medicine," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 62, no. 2–3, pp. 165–173, Jul. 2001.

[7] Medical Image Dataset - Brain Tumor Detection, Kaggle. [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/pkdarabi/medical-image-dataset-brain-tumor-detection

[8] Alzheimer's Classification Dataset, Kaggle. [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/kanaadlimaye/alzheimers-classification-dataset

[9] M. Talo, O. Yildirim, U. B. Baloglu, G. Aydin, and U. R. Acharya, "Convolutional neural networks for multi-class brain tumor classification using MRI images," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 78, p. 101673, 2019.

[10] L. A. Zadeh, "Fuzzy logic," *Computer*, vol. 21, no. 4, pp. 83–93, 1988.

[11] Liao, S. H. (2005). Expert system methodologies and applications—a decade review from 1995 to 2004. *Expert systems with applications*, 28(1), 93-103.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Implementación de un sistema hidropónico vertical para maximizar la producción de hortalizas mediante programación lineal

**Arias, Gimena Rosa - gimenaarias@alu.frt.utn.edu.ar**
**Pacheco Rojas, Lucia Agostina - luciapacheco@alu.frt.utn.edu.ar**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**
*Este trabajo de investigación, desarrollado en el marco de la materia Investigación Operativa del cuarto nivel de Ingeniería en Sistemas de Información, tiene por objeto plantear modelos programación lineal para determinar la cantidad óptima de estructuras hidropónicas verticales a instalar en el invernadero de la Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle en Tucumán. Además, determinar la cantidad óptima de plantas por nivel según el tipo de hortaliza, maximizar los ingresos mediante la distribución adecuada de cultivos, y formular soluciones nutritivas que minimicen costos.*

**Palabras Clave**: Programación lineal, sistema hidropónico vertical, optimización espacial, nutrientes, producción de hortalizas.

## Introducción

Amaicha del Valle, un pueblo ubicado aproximadamente a 2.000 metros de altura presenta un clima árido y semiárido, caracterizado por inviernos fríos con heladas frecuentes y noches frescas incluso en verano. Las precipitaciones son escasas, siendo el resto del año muy seco. Estas condiciones climáticas dificultan el cultivo tradicional en suelo, ralentizando el desarrollo de los cultivos (extendiendo el ciclo de producción) y reduciendo su rendimiento.

Ante este panorama, el presente proyecto propone la implementación de un sistema hidropónico vertical para la producción de hortalizas en el campo de práctica de la Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle en Tucumán. Este sistema permite optimizar el espacio disponible en el invernadero mediante el uso de programación lineal, la producción obtenida se destina tanto a la comercialización como al abastecimiento del comedor escolar.

La implementación de un sistema hidropónico vertical es crucial para la producción de hortalizas frente a las limitaciones que impone el clima local. Al eliminar la dependencia del suelo y desarrollar los cultivos en un entorno controlado, se garantiza una mejor gestión de variables como la temperatura, el agua y los nutrientes, permitiendo ciclos de cultivos más cortos y uniformes.

La estructura beneficia directamente a la escuela porque puede producir más de 200 plantas en el mismo espacio donde tradicionalmente se cultivan 70 plantas. Esta intensificación del uso del espacio representa una oportunidad para aumentar la producción, que podría traducirse en mayores ingresos económicos para la institución y en una ampliación del número de personas beneficiadas. No obstante, estos resultados dependen de factores como el adecuado mantenimiento del sistema y las condiciones climáticas.

## Objetivo General

Diseñar un sistema hidropónico vertical optimizado mediante programación lineal para maximizar la producción de hortalizas en la Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle, destinando parte de la producción al abastecimiento del comedor escolar y el resto a la generación de ingresos económicos para la institución.

## Objetivos Específicos

1. Determinar la cantidad máxima de estructuras verticales que se pueden instalar en el invernadero, según la infraestructura disponible y las especificaciones de cada estructura.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



2. Maximizar la cantidad de plantas por fila en cada nivel de la estructura, optimizando el espacio según el tamaño específico de cada tipo de hortaliza.
3. Maximizar las ganancias económicas determinando la cantidad óptima de estructuras dedicadas a cada tipo de hortaliza ponderadas por consumo y precio de cada uno.
4. Determinar las proporciones óptimas de cada nutriente para satisfacer los requerimientos específicos de cada tipo de hortaliza minimizando el costo total.

**Esquema de Fundamentos**

1. **Marco Teórico**

**Programación lineal:** La programación lineal es "un método de solución de problemas desarrollado para ayudar a los gerentes a tomar decisiones. En todos los problemas de programación lineal, el objetivo es la maximización o minimización de alguna cantidad". Además, existen restricciones que "limitan el grado en que se puede perseguir el objetivo." [4]

Para la formulación del problema, además de describir el objetivo y cada restricción, se deben definir las variables de decisión. Estas variables "son los insumos controlables en el problema", es decir, son aquellos datos que podemos manipular. [4]

**Programación lineal entera (PLE):** Son problemas que se modelan como programas lineales con el requerimiento adicional de que una o más variables deben ser números enteros. Se pueden identificar 3 tipos de PLE:

- **PLE Pura:** Todas las variables toman valores enteros.
- **PLE Binaria:** Las variables solo toman dos valores, 0 y 1.
- **PLE Mixta:** Si algunas de las variables, pero no todas, deben ser enteros, se habla de un programa lineal entero mixto. [4]

**Modelo de mezcla:** Las situaciones en las cuales varios insumos se deben mezclar en cierta proporción para producir bienes se pueden someter al análisis de la programación lineal. Estos problemas reciben el nombre de problemas de mezcla. [5]

**Programación Lineal Multiobjetivo:** Se trabaja con problemas determinísticos en los que existen dos o más objetivos (además de las restricciones) que deben ser cumplidos. Dichos objetivos, en general, entran en conflicto entre sí. Este tipo de técnica busca llegar a una solución que logre un equilibrio aceptable entre los objetivos. [8]

2. **Marco Contextual**

La Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle enfrenta limitaciones significativas en el aprovechamiento del espacio disponible para la producción de hortalizas, lo cual restringe tanto la generación de ingresos como la capacidad de abastecer de manera sostenida al comedor escolar y la comunidad local. Actualmente, la producción se realiza en suelo, utilizando tablones de 1 metro de ancho por 10 metros de largo, lo que representa aproximadamente la mitad del invernadero disponible. [3] Bajo este sistema, se obtienen alrededor de 560 plantas por ciclo de cultivo, con cuatro trasplantes anuales, alcanzando una producción estimada de 2.240 plantas al año. [3]

Parte de esta producción se destina al comedor escolar, mientras que el resto es comercializado por los estudiantes a vecinos, en comercios de la zona y directamente desde el invernadero. Sin embargo, la alta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



demanda supera ampliamente la capacidad actual de producción, lo que evidencia la necesidad de ampliar y modernizar el sistema productivo.

El clima de Amaicha del Valle limita severamente los ciclos de cultivo en tierra. La lechuga puede tardar hasta 120 días en invierno o no desarrollarse adecuadamente, mientras que la acelga, aunque más resistente, puede extender su ciclo hasta 130 días. Estas condiciones climáticas dificultan la continuidad productiva a lo largo del año. Con la implementación de un sistema hidropónico los ciclos de producción se reducen significativamente: la lechuga puede tardar entre 30 a 40 días y para la acelga entre 40 a 55 días, permitiendo una producción más eficiente y constante.

Frente a este escenario, el cultivo hidropónico vertical en invernadero permite controlar variables claves como la temperatura, humedad, agua y nutrientes. Además, posibilita triplicar la cantidad de plantas cultivadas en el mismo espacio, optimizando los recursos disponibles.

El problema abordado radica en el aprovechamiento ineficiente del espacio del invernadero: el sistema tradicional de cultivo horizontal limita significativamente la capacidad de producción y no logra cubrir las necesidades económicas ni nutricionales de la institución. Mientras que un sistema de cultivo vertical optimiza la superficie del invernadero.

Se usa un modelo de programación lineal multiobjetivo basado en el método de jerarquía para determinar la distribución óptima de estructuras y cultivos, con el fin de maximizar tanto el aprovechamiento del área disponible como las ganancias económicas.

También se usa un modelo de mezcla con el propósito de determinar las proporciones óptimas de cada nutriente necesarias para satisfacer los requerimientos específicos de cada tipo de hortaliza, minimizando al mismo tiempo el costo total de la solución nutritiva, formulada como una combinación de fertilizantes y sales comerciales disponibles en el mercado que garantiza el aporte nutricional recomendado para cada cultivo de manera eficiente y económica.

Los datos que utilizamos en el desarrollo de nuestros modelos son los siguientes:

| | |
|---|---|
| **LARGO** | 24 metros |
| **ANCHO** | 12 metros |

*Tabla 1: Especificaciones dimensionales del invernadero. [3]*

| | |
|---|---|
| **LARGO** | 8 metros |
| **ALTO** | 3 metros |
| **ANCHO** | 2 metros |
| **CANTIDAD DE NIVELES** | 8 |

*Tabla 2: Especificaciones dimensionales de cada estructura vertical. [1] [2]*

| | Características | Valores |
|---|---|---|
| **LECHUGA** | Distancia entre plantas | 0.25 metros |
| | Precio de venta por kg | $1.300 |
| | Altura promedio de la planta madura | 20 cm |
| **ACELGA** | Distancia entre plantas | 0.35 metros |
| | Precio de venta por kg | $1.800 |
| | Altura promedio de la planta madura | 35 cm |

*Tabla 3: Datos de hortalizas seleccionadas. [1] [2]*

| Tipos de Nutrientes | Proporción |
|---|---|
| Nitrógeno (N) | 150-200 ppm (partes por millón) |
| Fósforo (P) | 30-70 ppm (partes por millón) |
| Potasio (K) | 200-300 ppm (partes por millón) |
| Calcio (Ca) | 150-200 ppm (partes por millón) |
| Magnesio (Mg) | 40-60 ppm (partes por millón) |
| Hierro (Fe) | 3.75-5 ppm (partes por millón) |
| Azufre (S) | 35-80 ppm (partes por millón) |
| pH óptimo | 5.5-6.5 |
| Ciclo de producción | 30-40 días |

*Tabla 4: Proporción de nutrientes para la solución nutritiva de lechuga. [1] [2]*

| Tipos de Nutrientes | Proporción |
|---|---|
| Nitrógeno (N) | 200-250 ppm (partes por millón) |
| Fósforo (P) | 40-60 ppm (partes por millón) |
| Potasio (K) | 250-300 ppm (partes por millón) |
| Calcio (Ca) | 150-200 ppm (partes por millón) |
| Magnesio (Mg) | 50-70 ppm (partes por millón) |
| Hierro (Fe) | 6-10 ppm (partes por millón) |
| Azufre (S) | 45-100 ppm (partes por millón) |
| pH óptimo | 5.5-6.5 |
| Ciclo de producción | 40-55 días |

*Tabla 5: Proporción de nutrientes para la solución nutritiva de acelga. [1] [2]*

| Fertilizante | %N | %P | %K | %Ca | %Mg | %S | %Fe | Costo por kg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hakaphos Rojo** | 18 | 7.9 | 14.9 | 0 | 0.6 | 0.8 | 0.05 | $7.228 ($/kg) |
| **Hakaphos Base** | 7 | 5.2 | 33.2 | 0 | 0 | 4.4 | 0 | $8.620 ($/kg) |
| **Nitrato de calcio** | 15.5 | 0 | 0 | 18.8 | 0 | 0 | 0 | $3.587 ($/kg) |
| **Sulfato de magnesio** | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.7 | 13 | 0 | $2.195 ($/kg) |
| **Quelato de hierro** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | $65.676 ($/kg) |

*Tabla 6: Costos y composición de los fertilizantes. [1] [2]*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Desarrollo**

**Programación lineal multiobjetivo usando el método de jerarquía:**

Variables de decisión:

- **E:** Cantidad total de estructuras a instalar.
- **PL:** Cantidad de plantas de lechuga por fila en cada nivel de una estructura dedicada a lechuga.
- **PA:** Cantidad de plantas de acelga por fila en cada nivel de una estructura dedicada a acelga.
- **EL:** Cantidad de estructuras dedicadas a lechuga.
- **EA**: Cantidad de estructuras dedicadas a acelga.

Los objetivos en orden de prioridad son los siguientes:

**Primer objetivo:** Determinar cuántas estructuras verticales caben en el invernadero, según las dimensiones disponibles y las especificaciones de cada estructura, para así, maximizar el aprovechamiento del espacio disponible.

Para garantizar el tránsito del personal encargado del mantenimiento y control de los cultivos, se considera una separación mínima de 1 metro entre estructuras a lo ancho, por lo tanto, el ancho total de la estructura sería de 3 metros.

**Ancho total:** 2m (estructura) + 1m (pasillo) = 3m

**Área Total del invernadero:** 24m (largo) × 12m (ancho) = 288 m²

**Área por estructura vertical:** 8m (largo) × 3m (ancho) =24 m²

Las restricciones que integran el modelo representan área total ocupada por todas las estructuras y la función objetivo la maximización de la cantidad de estructuras a instalar. Ver enlace: https://docs.google.com/document/d/1h-wtrAxjmrgCS6xd-cEFYelVqwOyJGM6FJVybCtLvkA/edit?tab=t.14c1rut0wewp

**Segundo objetivo:** Determinar cuántas plantas de lechuga cultivar por fila en cada nivel, maximizando el espacio de la estructura vertical destinada a lechuga según el tamaño específico de la planta. Cada estructura se destinará exclusivamente a un solo tipo de hortaliza.

Las restricciones que integran el modelo representan espaciado por fila y la funcion objetivo la maximización de plantas de lechuga por fila.

Ver enlace: https://docs.google.com/document/d/1h-wtrAxjmrgCS6xd-cEFYelVqwOyJGM6FJVybCtLvkA/edit?tab=t.le65qos0w54k

**Tercer objetivo:** Establecer cuántas plantas de acelga cultivar por fila en cada nivel, maximizando el espacio de la estructura vertical destinada a acelga según el tamaño específico de la planta. Cada estructura se destinará exclusivamente a un solo tipo de hortaliza.

Las restricciones que integran el modelo representan espaciado horizontal para las plantas de acelga y la función objetivo, la maximización de la cantidad de plantas de acelga a cultivar por fila. Ver enlace: https://docs.google.com/document/d/1h-wtrAxjmrgCS6xd-cEFYelVqwOyJGM6FJVybCtLvkA/edit?tab=t.mezkzhzi7a6d

**Cuarto objetivo:** Determinar cuántas estructuras dedicar a cada tipo de hortaliza para maximizar las ganancias, considerando el consumo y los precios de venta de cada uno.

Se priorizará la producción de acelga, debido a su mayor consumo. Además, se analizarán los precios de ambas hortalizas para estimar los ingresos proyectados. Como parte del compromiso social del proyecto, se deberá garantizar que al menos el 40% de la producción total se destine al comedor escolar.

Las restricciones que integran el modelo representan consumo, asignación a comedor, y la función objetivo maximiza la cantidad de estructuras dedicadas a cada tipo de hortaliza.

Ver enlace: https://docs.google.com/document/d/1h-wtrAxjmrgCS6xd-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cEFYelVqwOyJGM6FJVybCtLvkA/edit?tab=t.nscnegbfvc7u

**Modelo de mezcla**
Variables de decisión:

- **HRL:** Cantidad en kg de Hakaphos Rojo a usar en la mezcla de la Lechuga.
- **HBL:** Cantidad en kg de Hakaphos Base a usar en la mezcla de la Lechuga.
- **CL:** Cantidad en kg de Nitrato de Calcio a usar en la mezcla de la Lechuga.
- **ML:** Cantidad en kg de Sulfato de Magnesio a usar en la mezcla de la Lechuga.
- **HL:** Cantidad en kg de Quelato de Hierro a usar en la mezcla de la Lechuga.
- **HRA:** Cantidad en kg de Hakaphos Rojo a usar en la mezcla de la Acelga.
- **HBA:** Cantidad en kg de Hakaphos Base a usar en la mezcla de la Acelga.
- **CA:** Cantidad en kg de Nitrato de Calcio a usar en la mezcla de la Acelga.
- **MA:** Cantidad en kg de Sulfato de Magnesio a usar en la mezcla de la Acelga.
- **HA:** Cantidad en kg de Quelato de Hierro a usar en la mezcla de la Acelga.

Las restricciones para la solución nutritiva de la lechuga y la acelga corresponden a nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, y la función objetivo que minimiza el costo total de la solución nutritiva se muestran en el siguiente enlace:
https://docs.google.com/document/d/1h-wtrAxjmrgCS6xd-cEFYelVqwOyJGM6FJVybCtLvkA/edit?tab=t.70fnzdslgpbw

**Aclaración:** Todos los requerimientos nutricionales, originalmente expresados en partes por millón (ppm) en las tablas de referencia, han sido convertidos a kilogramos para su incorporación en el modelo de programación lineal. Esta conversión se realizó asumiendo un volumen de 1000 litros de solución nutritiva para cada tipo de hortaliza.
Mecanismo de Conversión: La relación 1 ppm=1 mg/L.

**Análisis de resultados**
*Programación lineal multiobjetivo:*
La solución del modelo indica que pueden instalarse 12 estructuras verticales dentro del invernadero, respetando su área total de 288 m². Cada estructura ocupa 24 m², lo cual representa un aprovechamiento total del área disponible.
Se determinó que la cantidad máxima de plantas a cultivar por fila en cada estructura destinada a la lechuga es de 32 plantas. respetando el espaciamiento mínimo de 0,25 metros entre plantas y el largo disponible de 8 metros por fila. Del mismo modo, se determinó que la cantidad óptima de plantas de acelga por fila es de 22, considerando un espaciamiento mínimo de 0,35 m entre plantas. Esto permite un uso eficiente del espacio longitudinal en cada nivel de las estructuras destinadas a cada tipo de hortaliza.
Dado que cada estructura tiene 8 niveles:

- Capacidad por estructura de lechuga: 32 plantas/fila × 8 niveles = **256 plantas** por estructura.
- Capacidad por estructura de acelga: 22 plantas/fila × 8 niveles = **176 plantas** por estructura.

Para maximizar la ganancia, el modelo asigna 6 estructuras a lechuga y 6 a acelga, cumpliendo la restricción de prioridad de consumo (EA ≥ EL) para garantizar una mayor disponibilidad de acelga destinada al comedor escolar.
La *función objetivo* considera únicamente el 60% de la producción que se destina a la venta, ya que el 40% restante se destina al comedor escolar. Las ganancias por estructura son:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Lechuga: 256 plantas × $1300 = $332.800 → 60% para venta: $199.680.
- Acelga: 176 plantas × $1800 = $316.800 → 60% para venta: $190.080.

Con 6 estructuras de cada tipo, la ganancia máxima obtenida es de:
(6 × $199.680) + (6 × $190.080) = **$2.338.560.**

*Modelo de mezcla:*
Con este modelo se logró encontrar la combinación más económica de los cinco fertilizantes disponibles para formular dos soluciones nutritivas distintas: una para la lechuga y otra para la acelga. Esto garantiza el aporte nutricional adecuado para cada cultivo de manera eficiente y al menor costo posible.
El valor obtenido en la funcion objetivo es de **$30.557,50** el cual representa el costo mínimo para producir 1.000 litros de la solución nutritiva óptima para la lechuga y 1.000 litros para la acelga, cumpliendo con todos los requerimientos nutricionales establecidos para ambas hortalizas.
Las *variables de decisión* indican la cantidad óptima (en kilogramos) de cada fertilizante a utilizar para preparar los 1000 litros de solución nutritiva para cada cultivo.
*Para la solución nutritiva de la lechuga:*
- **HRL: 0.00577 kg**. La cantidad de Hakaphos Rojo es mínima. Esto se debe a que la combinación de los otros ingredientes ya aporta la mayor parte de los requerimientos de Nitrógeno y Fósforo. Un mayor uso de este fertilizante podría exceder los límites máximos permitidos para ciertos nutrientes (como el Azufre, cuya restricción máxima está activa en la lechuga), lo que demuestra la precisión del modelo para evitar el desperdicio y el exceso de nutrientes.
- **HBL: 0.59982 kg.** Hakaphos Base es el componente principal. Su alto contenido de Potasio (K) lo convierte en la opción más eficiente y económica para satisfacer la elevada demanda de Potasio de la lechuga, un nutriente clave para su desarrollo.
- **CL: 0.79787 kg.** La cantidad está directamente determinada por el requerimiento de Calcio de la lechuga, el cual se encuentra en su límite inferior (restricción activa), asegurando que se cumpla la cantidad mínima necesaria.
- **ML: 0.41201 kg.** Se utiliza para ajustar con precisión los niveles de Magnesio y Azufre. El modelo lo dosifica para asegurar que los rangos óptimos de estos micronutrientes, no cubiertos completamente por los fertilizantes base, sean alcanzados.
- **HL: 0.06245 kg**. Este fertilizante es fundamental para cubrir el requerimiento de Hierro. Su cantidad es específica para asegurar que el nivel mínimo de Hierro, cuya restricción está activa, sea satisfecho.
*Para la Solución Nutritiva de la Acelga:*
- **HRA: 0.15896 kg.** A diferencia de la lechuga, el modelo utiliza una cantidad significativa de Hakaphos Rojo para la acelga. Esto se debe a que la acelga tiene una mayor demanda de Nitrógeno, y este fertilizante es la forma más eficiente de aportar este nutriente adicional.
- **HBA: 0.68167 kg.** Hakaphos Base es el ingrediente principal, pero en mayor cantidad. Esto es coherente con el requerimiento de Potasio de la acelga, que es aún más alto que el de la lechuga, y cuya restricción máxima está activa.
- **CA: 0.79787 kg.** La cantidad es idéntica a la utilizada para la lechuga. Esto es lógico, ya que los requerimientos de Calcio para ambos cultivos son los mismos.
- **MA: 0.50563 kg.** Este valor refleja una mayor exigencia de la acelga en Magnesio. Las restricciones de Magnesio Mínimo para acelga están activas, asegurando la satisfacción de este requerimiento.
- **HA: 0.099868 kg.** Se utiliza en mayor proporción que para la lechuga, ya que la acelga requiere un aporte más elevado de Hierro.

**Conclusión y Trabajos Futuros**
La aplicación de modelos de programación lineal al sistema hidropónico vertical para la Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



representa una contribución significativa a la planificación óptima del espacio, los cultivos y los recursos. Este trabajo busca promover la toma de decisiones basadas en herramientas de la investigación operativa, especialmente en un contexto rural donde los recursos son limitados y el acceso a tecnología de precisión es escaso.

El proyecto se compone de dos módulos principales, cuya integración ofrece una solución técnica y económicamente viable para mejorar el rendimiento agrícola de la institución. El primer módulo aborda la optimización espacial y productiva del invernadero, mientras que el segundo se enfoca en la formulación de soluciones nutritivas eficientes a través de un modelo de mezcla. Si bien ambos pueden aplicarse de manera independiente, su conexión resulta clave para una implementación integral: el diseño productivo define la demanda de nutrientes, y el modelo de mezcla responde a esa demanda minimizando el costo de insumos.

Cada modelo propuesto puede ser adaptado fácilmente tanto a diferentes escalas o condiciones climáticas como al cultivo de otros vegetales, frutas y verduras, siempre que se cuente con datos específicos del entorno.

La implementación del sistema hidropónico vertical en la Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle no solo optimiza el uso del espacio y mejora la producción, sino que también demuestra ser una alternativa económicamente viable y sostenible. El análisis financiero confirma una alta rentabilidad, con un VAN de $21.592.219 y recuperación de la inversión en menos de un año, incluso destinando el 40% de la producción al comedor escolar.

El análisis de riesgo indica que, a pesar de los desafíos del clima local (heladas, sequías, vientos) y posibles fluctuaciones de precios, el proyecto mantiene un bajo nivel de vulnerabilidad gracias a medidas preventivas y planes de contingencia.

En conclusión, este proyecto pone en evidencia la utilidad de la programación lineal como instrumento de apoyo para la gestión agrícola, especialmente en instituciones educativas con fines productivos y sociales. La integración de modelos analíticos permitió simular escenarios realistas, tomar decisiones informadas y construir una propuesta concreta que optimiza la producción, reduce costos y atiende las necesidades alimentarias de la comunidad escolar.

Como líneas de trabajo futuro, se podría incorporar la optimización del consumo de agua y energía al modelo de programación lineal, un aspecto crucial para el clima de Amaicha del Valle. Además, el modelo podría ampliarse para incluir la diversificación de cultivos, incorporando otras hortalizas y hierbas. Un modelo más completo permitiría a la escuela rotar los cultivos según la temporada y la demanda, lo que mejoraría la rentabilidad y el autoabastecimiento.

**Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a las siguientes personas e instituciones, cuya colaboración fue fundamental para la realización de este trabajo:

A la Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle, por abrirnos sus puertas y brindarnos información esencial sobre su invernadero y sus sistemas de cultivo actuales. Un agradecimiento especial a su cuerpo docente por su tiempo y disposición.

Al Ing. Sergio Lobo, de la Escuela Media Taco Ralo, por compartir su valioso conocimiento sobre la producción de hortalizas en sistemas hidropónicos.

Al Prof. Anibal Tello, de la Escuela Agrotécnica Juan Mantovani; su ayuda fue de vital importancia, brindándonos datos y aportes clave sobre la implementación de sistemas hidropónicos verticales.

A la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, y en especial a los profesores de la materia Investigación Operativa, por brindarnos la formación, las herramientas y el apoyo académico para llevar a cabo esta investigación.

**Referencias**

[1] Lobo, Sergio. (2025). Información sobre Producción de Hortalizas en Sistema Hidropónico. Comunicación personal. Escuela Media Taco Ralo

[2] Tello, Anibal. (2025). Información sobre Sistema Hidropónico Vertical. Comunicación personal. Escuela Agrotécnica Juan Mantovani, Santa Ana

[3] Docentes de la Escuela Agrotécnica Amaicha del Valle. (2025). Información sobre Invernadero y conocimientos sobre cultivos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



HIDROPÓNICOS. COMUNICACIÓN PERSONAL. ESCUELA AGROTÉCNICA AMAICHA DEL VALLE, AMAICHA DEL VALLE, TUCUMÁN
[4] DAVID R. ANDERSON, DENNIS J. SWEENEY, THOMAS A. WILLIAMS, JEFFREY D. CAMM, KIPP MARTIN. MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LOS NEGOCIOS (11A. ED.).
[5] WAYNE L. WINSTON. INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES (4TA. ED)
[6] SISTEMAS HIDROPÓNICOS: TIPOS, DIFERENCIAS Y VENTAJAS - HTTPS://JIFFYGROUP.COM/ES/NOTICIAS/SISTEMAS-HIDROPONICOS-TIPOS-DIFERENCIAS-Y-VENTAJAS/
[7] HIDROPONÍA VERTICAL HTTPS://GROWR.COM.PE/SISTEMA-DE-HIDROPONIA-VERTICAL/
[8] M. KAMLESH Y D. SOLOW, INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES, PRENTICE HALL, 1996.

**Datos de Contacto:**
*Pacheco Rojas, Lucia Agostina. Coronel Pringles 1478-Aguilares, Tucumán.*
*UTN - FRT. luciapacheco@alu.frt.utn.edu.ar.*
*Arias, Gimena Rosa. Belgrano 275-Concepción, Tucumán.*
*UTN - FRT. gimenaarias@alu.frt.utn.edu.ar.*

**ANEXOS**

Tablas de datos y restricciones https://docs.google.com/document/d/1h-wtrAxjmrgCS6xd-cEFYelVqwOyJGM6FJVybCtLvkA/edit?usp=drive_link

Modelo de programación lineal multiobjetivo en solver https://docs.google.com/spreadsheets/d/1njGUs3osbSCSn-pKxbpGIZF58QCsAdPo/edit?usp=drive_link&ouid=103842903858805969392&rtpof=true&sd=true

Modelo de mezcla en solver https://docs.google.com/spreadsheets/d/1X9NijnDY-tkDqDVSNCOJ-z1e-09szWwO/edit?usp=drive_link&ouid=103842903858805969392&rtpof=true&sd=true

**Anexos Imágenes**

Para comprender el impacto de esta solución, se detalla el proyecto en dos secciones: en primer lugar, se contrastan las condiciones iniciales del invernadero vacío con la propuesta de diseño optimizado del sistema hidropónico vertical. Esto demuestra el aporte de la Programación Lineal en la maximización del aprovechamiento del espacio y la producción.



*IMAGEN 1: Invernadero de la Escuela Agrotécnica de Amaicha del Valle*

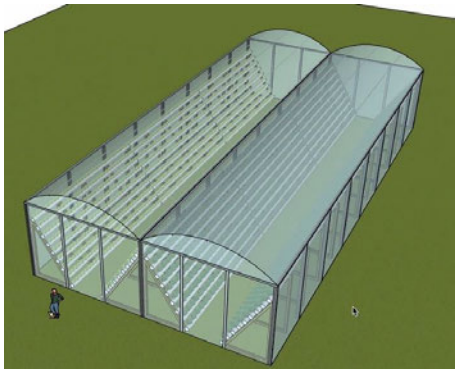


*IMAGEN 2: Proyección de la Implementación del Sistema Hidropónico Vertical en el Invernadero*

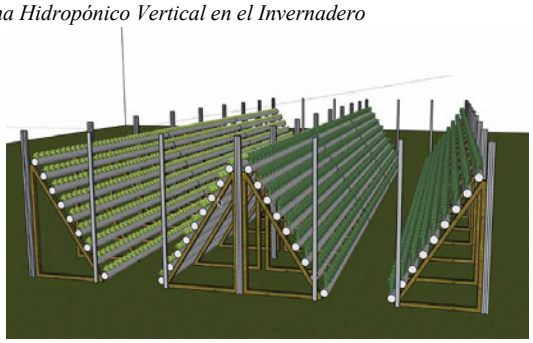


*IMAGEN 3: Configuración Interna Optimizada*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Evaluación del impacto de implementaciones WAF en microservicios

**García Fontana, Sebastián José**

***Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales***

**Abstract**
*El desarrollo de aplicaciones usando arquitectura basada en microservicios se ha convertido en una alternativa popular. Debido a la constante preocupación de salvaguardar datos contra ataques, se han desarrollado diversos protocolos y tecnologías para la protección de los sistemas. Una de estas tecnologías son los Web Application Firewall (WAF), un tipo de firewall que supervisa el tráfico HTTP entre aplicaciones web y clientes, bloqueando peticiones maliciosas. Por la gran flexibilidad que supone la arquitectura en microservicios existen distintas alternativas para la implementación de un WAF, por lo que en el presente trabajo se buscó evaluar el impacto en los tiempos de respuesta que genera dos de estas alternativas: WAF en un Ingress Controller y WAF como sidecar. El objetivo final fue el de comparar si existe diferencia perceptible en el impacto que genera una alternativa sobre otra. La implementación y análisis se realizó con un cluster de Kubernetes, con Docker, y ModSecurity como WAF.*

**Palabras Clave**
Microservicios, Ciberseguridad, Web Application Firewall

## Introducción

Desde el inicio del desarrollo de aplicaciones existió una tendencia hacia una arquitectura monolítica, en donde todos los módulos de la aplicación se concentraban en una única unidad. Esto produce un alto acoplamiento entre los distintos módulos, dificultando detección y corrección de errores, implementación de nuevas funcionalidades, o escalado, debido a que para modificar una funcionalidad todas las demás en el sistema se verán afectadas. Es en este contexto que se desarrolla la arquitectura basada en microservicios, donde la aplicación se divide en módulos independientes llamados servicios. Cada servicio trabaja de forma aislada y usando pasaje de mensajes para comunicarse con los demás servicios cuando resulta necesario. Esta distribución mejora todas las problemáticas del modelo monolítico, pero trae consigo nuevas dificultades inherentes a su modelo distribuido, siendo una de las más destacables la seguridad.

La seguridad es indudablemente una de las características indispensables de cualquier sistema moderno. El avance de las metodologías de ataque y la aparición de nuevas técnicas requiere de la constante actualización y revisión de los mecanismos de defensa actuales. En el Global Security Outlook 2025 del World Economic Forum [1] se plantea como desde el 2022 hasta la actualidad se ha incrementado la brecha de confianza que tienen las empresas grandes y pequeñas en la seguridad de sus sistemas, donde hasta un 35% de las empresas pequeñas afirman creer tener niveles de seguridad inadecuados. Esto evidencia la necesidad constante de actualizar los sistemas y monitorear el correcto y eficiente funcionamiento de los mecanismos de seguridad.

Según Prabath Siriwardena y Nuwan Dias [2] los factores que complejizan la implementación de seguridad en microservicios son:

- Mayor superficie de ataque, debido a las vulnerabilidad que generan los endpoints de cada servicio.
- La validación de las peticiones puede impactar al desempeño del sistema por su naturaleza

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



distribuida. En una aplicación monolítica se realiza una única vez, pero en microservicios se puede generar redundancia al generar verificaciones para cada microservicio.
- Implementar confianza en los canales de comunicación entre servicios, y el trabajo necesario para el manejo de las credenciales que necesita cada microservicio para garantizar la confianza.
- La necesidad de la observabilidad para poder hacer seguimiento de peticiones que viajan entre múltiples servicios a través del uso de logs, métricas y trazas.
- Cada servicio se despliega en un contenedor propio, que por buenas prácticas debería ser inmutable. Esto implica que el servidor no debería cambiar los archivos una vez iniciado el contenedor ni manejar información extra durante el tiempo de ejecución, lo que dificulta el implementar listados de clientes permitidos y políticas para el acceso a los servicios.
- El diseño distribuido dificulta poder compartir el contexto de usuario entre servicios.
- Cada servicio puede ser escrito en un lenguaje distinto, lo que genera una necesidad de mayor habilidad en el desarrollo multi-equipo, donde cada equipo necesitará a un experto de seguridad para una tecnología concreta.

De entre estas problemáticas se hizo un especial énfasis en el consumo de recursos y el posible impacto de la performance de los sistemas. En aplicaciones comerciales donde se despliegan cientos o miles de contenedores de forma simultánea, la elección de una implementación sobre otra puede suponer grandes diferencias en la capacidad de respuesta general.

Una de las tecnologías más utilizadas para la securización de servicios son los Web Application Firewall (WAF), encargados de supervisar y bloquear tráfico HTTP no deseado. Dentro de un cluster de microservicios la implementación se puede realizar tanto en un Ingress Controller, encargado de enrutar las peticiones HTTP, como sidecar para cada contenedor, o dentro de una malla de servicios [3]. Para este trabajo se buscó realizar una comparación entre los retrasos en los tiempos de respuesta de una implementación sin WAF, dentro de un Ingress Controller y como sidecar.

**Metodología**

Para la creación de los contenedores de servicio se utilizó Docker y como orquestador de contenedores, Kubernetes. Este último utiliza una arquitectura de nodos, diferenciando entre nodo maestro y nodos worker. Los nodos pueden a su vez correr uno o varios pods, a su vez estos pods pueden correr una o varias de las instancias de los contenedores elegidos, listos para ejecución. Las implementaciones se llevaron a cabo en una máquina virtual con Ubuntu 24.04.3 LTS.

Para la experimentación se utilizó Mini Kube, en una primera implementación se creó un clúster local, con un único nodo con los recursos tanto de maestro como de worker. Este nodo correría un único pod, dicho pod correría un contenedor con un servicio de prueba, cuya función sería devolver un echo de las peticiones HTTP realizadas al servicio, ejemplo Figura 1.

```
Request served by hello-deployment-65f84f874b-qn6g5

HTTP/1.1 GET /

Host: hello.mydomain.com
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8
Accept-Encoding: gzip, deflate
Accept-Language: en-US,en;q=0.5
Priority: u=0, i
Upgrade-Insecure-Requests: 1
User-Agent: Mozilla/5.0 (X11; Ubuntu; Linux x86_64; rv:142.0) Gecko/20100101 Firefox/142.0
X-Forwarded-For: 192.168.76.1
X-Forwarded-Host: hello.mydomain.com
X-Forwarded-Port: 80
X-Forwarded-Proto: http
X-Forwarded-Scheme: http
X-Real-Ip: 192.168.76.1
X-Request-Id: 353597b71801c08a292497013e518535
X-Scheme: http
```

*Figura 1*

Pero debido a que esta implementación está lejos de representar un sistema real se optó

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



por una segunda alternativa, que intenta ser más cercana a la realidad. La misma consiste en una aplicación web en la que se introducen 2 valores numéricos y devuelve la suma de ambos.

El cluster se configuró con 3 nodos, 1 como maestro y 2 cómo workers. Primero se crearon 2 Deployment, uno para un frontend y otro para un backend. En estos se indicaron la cantidad de pods, con el/los contenedores deseados, y el nombre de la aplicación a la que corresponden. En un nodo worker se cargaría el pod con el servicio de front, encargado de suministrar los archivos web y de funcionar como proxy al back. En el otro nodo worker se encontraría el back que recibe ambos números y devuelve la suma.

Luego se configuraron dos Service, los cuales exponen una IP local dentro del cluster para poder comunicarse con la aplicación a la que esté asociado el Service, front o back respectivamente.
A continuación se creó un recurso Ingress, configurando el ruteo de las peticiones HTTP/S, exponiendo el servicio al exterior del cluster. Para la experimentación se evaluó también el overhead generado por la utilización de HTTPS. Cabe aclarar que la comunicación entre los servicios en el cluster se mantuvo sólo con HTTP.
La configuración planteada en el Ingress se lleva a cabo por un Ingress Controller, se utilizó Nginx ya que se puede activar como un addon de Mini Kube y es compatible con ModSecurity, el WAF seleccionado.
Toda la configuración de cada arquitectura fue escrita en un archivo .yaml y luego aplicado a través del cliente kubectl, Figura 2.
Finalmente por comodidad se modificó el archivo de DNS local del SO para asignar la url hello.mydomain.com a la ip pública del cluster.




*Figura 2*

Para la implementación de WAF en el Ingress Controller se modificó el ConfigMap del mismo, activando ModSecurity, con su configuración básica, ya que por defecto no viene activado, Figura 3.




*Figura 3*

Para la implementación de WAF como sidecar se modificó los Deployment, añadiendo a los pod un contenedor adicional de Nginx ya configurado con ModSecurity, y preparado para recibir todo el tráfico del servicio asociado y luego redirigirlo al contenedor de aplicación una vez verificado.

Para cada implementación se utilizó la herramienta hey para realizar 5 pruebas de diez mil peticiones con y sin HTTPS secuenciales y concurrentes con 10 hilos, y así obtener métricas de los tiempos de respuesta de cada implementación.

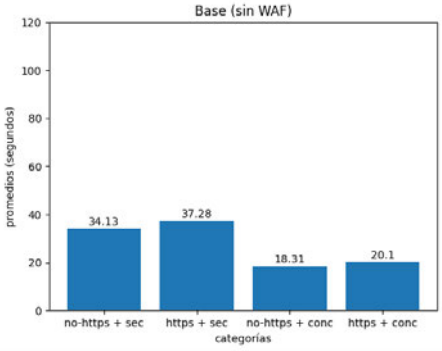



*Figura 4*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



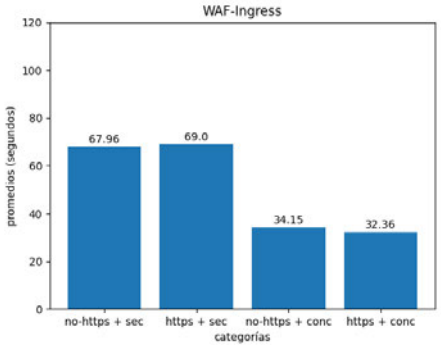



*Figura 5*

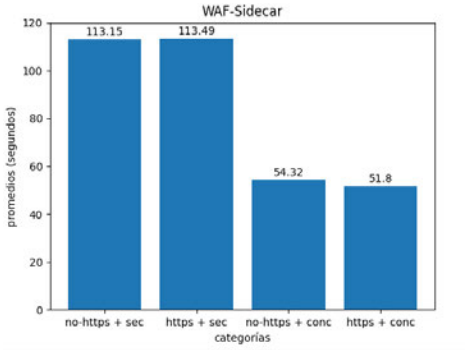



*Figura 6*

Según los resultados obtenidos se puede observar como la implementación en sidecar es la que mayor overhead produjo, muy posiblemente por tener que pasar por múltiples WAF en la comunicación entre nodos. Aun así fue la ésta la que mayor diferencia presentó entre las peticiones secuenciales y concurrentes.

Por otro lado, el uso de HTTPS no muestra una diferencia significativa en los tiempos de respuesta, teniendo inclusive casos que los tiempos con HTTPS fueron menores a los de solo HTTP.

**Trabajos Relacionados**

Luego de analizar la literatura disponible, se puede determinar que: varios trabajos recientes tratan temas relacionados, sin embargo no se encontraron publicaciones específicas, en el área de Firewall de Aplicaciones Web aplicada a la arquitectura de microservicios.

Cabe destacar dado el auge de la Inteligencia Artificial, que existen varias publicaciones sobre la aplicación de técnicas de IA en Firewall de Aplicaciones Web, entre los cuales se pueden citar a los trabajos de Dilfuza Makhmudova [4], M. Domingues et al [5] y ] Aref Shaheed [6].

Los estudios sistemáticos más recientes analizados tratan sobre aspectos como: descomposición de aplicaciones monolíticas en arquitecturas de microservicios [7] [8], o la arquitectura de Microservicios en general [9] [10].

Se puede destacar también la aplicación de esta arquitectura en Internet of Things, donde también aparecen en la literatura revisiones como la de Abir El Akhdar [11]

Otros trabajos consultados realizan revisiones en la literatura White y Grey, y ofrecen resultados interesantes, debido a que muchos de los White papers de empresas, sitios web o blog hacen aportes en cuanto a las mejores prácticas o experiencia en desarrollos interesantes [12].

Por último, de todas las publicaciones analizadas, no se encontraron trabajos sobre Web Application Firewalls (WAFS) aplicados a arquitecturas de microservicios.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Debido a los tiempos obtenidos de la mediciones se puede suponer que la implementación de un WAF en Ingress Controller genera menor overhead en general. Aunque estos resultados deben ser considerados en contexto de la aplicación y su objetivo. Según la situación puede ser preferible implementar las mismas reglas de seguridad para todas las peticiones y evaluarlas una sola vez, siendo ideal para el Ingress Controller, o tener reglas especializadas para cada servicio, más eficiente de implementar como sidecar.
Pero es importante comprobar cómo incluso en sistemas pequeños la decisiones

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de implementación de los mecanismos de seguridad pueden tener un gran impacto en la performance final de los mismos.
Un análisis más profundo sería conveniente tal vez con el uso de otras tecnologías, dado que existe la posibilidad de que estos resultados sean dados por las tecnologías utilizadas, y difieran con otras implementaciones.
Experimentación con implementaciones en la nube y a mayor escala también serían convenientes realizar a futuro.

**Agradecimientos**
Agradecimientos al profesor Nelson Rodriguez de la cátedra Sistemas Distribuidos como Tutor de trabajo.

**Referencias**
[1]World Economic Forum, “Global Cybersecurity Outlook”, Insight Report, 2025. https://es.weforum.org/publications/global-cybersecurity-outlook-2025/
[2]P. Siriwardena and N. Dias, *Microservices in Action*. Shelter Island, NY: Manning Publications, 2020.
[3]E. E. Bonillo Valero, “Securización de microservicios orquestados con Kubernetes”, Tesis de Máster, Universitat Oberta de Catalunya, 2024
[4] D. Makhmudova, “Using artificial intelligence techniques in web application firewall (WAF),” in AIP Conference Proceedings, vol. 3147, no. 1, p. 040021, 2024, doi: 10.1063/5.0210409.
[5] M. Domingues Junior and N. F. F. Ebecken, “A new WAF architecture with machine learning for resource-efficient use,” *Computers & Security*, vol. 106, p. 102290, 2021, doi: 10.1016/j.cose.2021.102290.
[6] A. Shaheed and M. H. D. Bassam Kurdy, “Web Application Firewall Using Machine Learning and Features Engineering”, Security Comm Networks, vol. 2022, 2022. doi: 10.1155/2022/5280158
[7] Y. Abgaz *et al.*, "Decomposition of Monolith Applications Into Microservices Architectures: A Systematic Review," IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 49, no. 8, pp. 4213-4242, 2023, doi: 10.1109/TSE.2023.3287297
[8] I. Oumoussa and R. Saidi, "Evolution of Microservices Identification in Monolith Decomposition: A Systematic Review," IEEE Access, vol. 12, pp. 23389-23405, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3365079
[9] P. Di Francesco *et al*. “Architecting with microservices: A systematic mapping study”, Journal of Systems and Software, Volume 150, Pages 77-97, 2019, doi: 10.1016/j.jss.2019.01.001
[10] H. Vural, M. Koyuncu, and S. Guney, “A Systematic Literature Review on Microservices,” in Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10409, O. Gervasi *et al.*, Eds. Cham: Springer, 2017, pp. 110–121, doi: 10.1007/978-3-319-62407-5_14.
[11] A. El Akhdar, C. Baidada, A. Kartit, M. Hanine, C. O. García, R. G. Lara, and I. Ashraf, “Exploring the Potential of Microservices in Internet of Things: A Systematic Review of Security and Prospects,” *Sensors*, vol. 24, no. 6771, 2024, doi: 10.3390/s24206771.
[12] F. Ponce, J. Soldani, H. Astudillo, and A. Brogi, “Microservices Security: Bad vs. Good Practices,” in *Software Architecture. ECSA (2022) Tracks and Workshops. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13928, T. Batista, T. Bureš, C. Raibulet, and H. Muccini, Eds. Cham: Springer, 2023, pp. 319–331, doi: 10.1007/978-3-031-36889-9_23.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# GardenBot: Monitoreo Inteligente de Cultivos con Robot Autónomo

**Stassi, José Ignacio**
**UTN Regional Rosario**
**joseignaciostassi@gmail.com**

**Ferullo, Matías**
**UTN Regional Rosario**
**matias.ferullo1@gmail.com**

**Levrand, Tomás**
**UTN Regional Rosario**
**tomylevrand@gmail.com**

**Bessone, Renzo**
**UTN Regional Rosario**
**renzogtx@gmail.com**

**Koffler, Ignacio**
**UTN Regional Rosario**
**nachokoffler@gmail.com**

**Rego, Matías Miguel Angel**
**UTN Regional Rosario**
**matiasrego496@gmail.com**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario***

## Resumen

*Este trabajo presenta el diseño preliminar de un sistema robótico autónomo orientado al monitoreo de humedad del suelo y registro visual en cultivos dispuestos en líneas de siembra. El proyecto surge como respuesta a la necesidad de automatizar tareas de observación y control hídrico en contextos agrícolas de pequeña y mediana escala. En esta primera fase se desarrolló el diseño mecánico, el esquema general del sistema, y la planificación de integración entre módulos. Este documento establece la base teórica y técnica para las próximas etapas de desarrollo, orientadas a la construcción del prototipo funcional.*

## 1. Introducción

La agricultura de precisión ha experimentado un crecimiento significativo en la última década, impulsada por la incorporación de sistemas automatizados y tecnologías de monitoreo inteligente. En este contexto, el *FarmBot*[5] se ha consolidado como una de las primeras plataformas de código abierto orientadas a la automatización de huertos y cultivos a pequeña escala. Su diseño cartesiano, semejante al de una impresora 3D, y su capacidad de integrar sensores y herramientas intercambiables, lo han posicionado como un referente en la digitalización de procesos agrícolas domésticos y educativos.

Sin embargo, la configuración estructural del *FarmBot* impone limitaciones en cuanto a escalabilidad, adaptabilidad espacial y costos de implementación. Estas restricciones se traducen en una barrera para su adopción masiva, particularmente en regiones donde la flexibilidad de instalación y la accesibilidad económica resultan factores críticos.

En este marco, surge la propuesta teórica de *GardenBot*, un sistema alternativo que, si bien comparte la finalidad de automatizar tareas de monitoreo y riego, plantea una arquitectura distinta basada en rieles externos. Este rediseño busca superar las restricciones inherentes al modelo tradicional, favoreciendo la modularidad, la escalabilidad horizontal y la adaptación a diferentes configuraciones de huertos.

El presente trabajo no pretende describir un prototipo terminado, sino establecer un marco de análisis conceptual que permita identificar, desde una perspectiva técnica, los potenciales beneficios de *GardenBot* frente a *FarmBot*. De esta manera, se sientan las bases para futuras etapas de desarrollo experimental y validación práctica del sistema.

## 2. Marco Teórico

Los avances en robótica agrícola han impulsado el desarrollo de plataformas móviles y autómatas capaces de ejecutar tareas repetitivas de forma precisa, como la siembra, el monitoreo de cultivos o la aplicación localizada de insumos. Estas soluciones se apoyan en motores de precisión, sistemas de monitoreo y redes de sensores.

Uno de los factores críticos en este ámbito es la gestión del agua. La determinación de la humedad del suelo mediante sensores electrónicos es una herramienta fundamental para establecer estrategias de riego más eficientes. Los sensores de humedad capacitivos en particular ofrecen esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



capacidad con el menor costo de mantenimiento frente a la alternativa resistiva.

Desde el punto de vista del control y procesamiento, dispositivos como la Raspberry Pi representan una alternativa de bajo costo y gran versatilidad. Su uso combinado con microcontroladores secundarios (como Arduino) es una práctica común en la robótica para delegar tareas de bajo nivel como el control de motores o lectura de sensores.

En conjunto, estas bases justifican la viabilidad del diseño preliminar del robot propuesto, el cual integra tecnologías probadas en sensado, control y registro audiovisual, con la finalidad de aplicarlas a un contexto de agricultura de precisión y gestión eficiente de recurtsos.

## 3. ¿Qué es el FarmBot?

FarmBot es una plataforma robótica de agricultura diseñada para operar en un huerto urbano o jardín automatizado. El sistema está compuesto principalmente por una estructura motorizada que se desplaza a lo largo de un conjunto de rieles, lo que permite que una variedad de herramientas y sensores se muevan sobre el área de cultivo. Las principales funciones del sistema incluyen la siembra, el riego, la fertilización, el monitoreo de la humedad del suelo y la recolección de datos sobre el estado de las plantas.

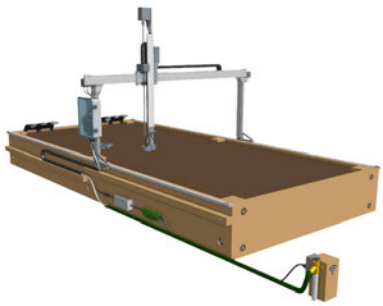


**Figura 1. Modelo de Farmbot original.**

FarmBot utiliza sensores de humedad, cámaras de alta resolución, sensores de temperatura, y sensores de pH, entre otros, para recopilar información en tiempo real sobre las condiciones del cultivo. Estos datos son procesados por una plataforma de software basada en la nube, que permite a los usuarios monitorear el estado de sus cultivos desde cualquier dispositivo conectado a internet.

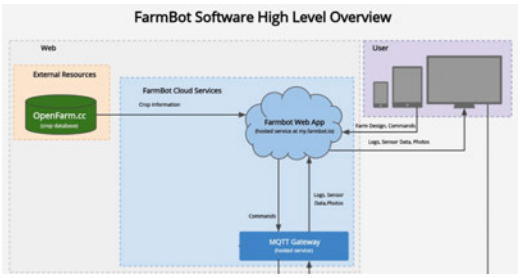



**Figura 2.1. Funcionamiento de transmisión de datos y comandos desde diferentes dispositivos a la app "Farmbot Web App"**

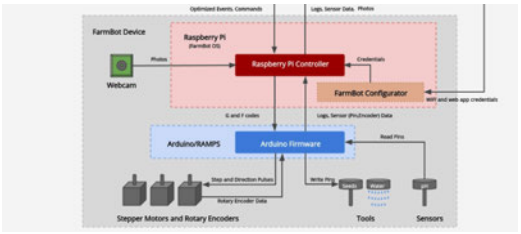



**Figura 2.2. Transmisión de información del controlador Raspberry Pi de Farmbot, entre su Web App y los elementos físicos**

### 3.1. Funcionamiento

#### 3.1.1 Plataforma Robótica

El sistema está construido sobre una estructura cartesiana motorizada que se desplaza sobre una superficie de cultivo predeterminada. Esta estructura consta de una serie de rieles que delimitan un área rectangular sobre la cual se moviliza un cabezal robótico. Gracias a su capacidad de desplazarse en los tres ejes espaciales (X, Y y Z), el sistema puede acceder a cualquier punto dentro del área cultivada con un alto nivel de precisión. Los motores paso a paso, controlados por una unidad electrónica, permiten que el cabezal se mueva de manera controlada, mientras que la incorporación de sensores de posición, tales como finales de carrera o encoders, garantiza la exactitud en los desplazamientos. Esta movilidad precisa es fundamental para tareas como la siembra, el riego localizado y la recolección de datos. (Ver **Figura 1**).

#### 3.1.2 Herramientas y Sensores

FarmBot puede estar equipado con múltiples herramientas intercambiables según la tarea que se le pida hacer. Los sensores, que son de humedad del suelo, temperatura del suelo y aire, cámaras de alta resolución y sensores de ph del suelo; le proporcionan datos al software, que luego determina qué acciones deberá tomar.

Herramienta de siembra: Deposita semillas con precisión milimétrica en ubicaciones predeterminadas.

Boquilla de riego: Permite la aplicación controlada de agua sobre zonas específicas del cultivo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Sensor de humedad del suelo: Evalúa el contenido hídrico del sustrato a diferentes profundidades.

Sensor de pH: Determina la acidez o alcalinidad del suelo, información clave para la salud del cultivo.

Cámara de alta resolución: Captura imágenes del crecimiento de las plantas, permite el reconocimiento visual de malezas, plagas o enfermedades.

Sensor de temperatura: Monitorea tanto la temperatura del aire como la del suelo, variables que influyen directamente en la germinación y el desarrollo vegetal.

#### 3.1.3 Software de Control y Monitoreo

Es operado desde una plataforma web donde el usuario puede programar y personalizar las tareas automáticas. Además de otorgar herramientas de diagnóstico y monitoreo del funcionamiento y estado del robot (Ver **Figura 2.1 y Figura 2.2**).

El software opera en la nube, lo que posibilita el acceso remoto desde cualquier dispositivo conectado a internet. A su vez, el sistema puede recibir actualizaciones de firmware y software a través de internet, lo que permite mejorar su funcionamiento y añadir nuevas funcionalidades con el tiempo. Esta conectividad también permite la sincronización de datos ambientales recolectados por los sensores, los cuales pueden ser utilizados tanto para generar alertas como para realizar ajustes automáticos en las operaciones del robot.

#### 3.1.4 Riego Inteligente

A diferencia de los sistemas de riego convencionales que se activan en horarios predefinidos, FarmBot basa sus decisiones de riego en la información proporcionada por los sensores de humedad del suelo. Cuando el contenido de agua en el sustrato cae por debajo de un umbral definido, el sistema calcula la cantidad de agua necesaria y ejecuta un riego puntual y eficiente. Esta decisión toma en cuenta variables como el tipo de planta, la etapa de desarrollo fenológico, la profundidad de las raíces, las condiciones meteorológicas recientes y la temperatura ambiente, todo ello con el objetivo de garantizar una irrigación adaptativa y sostenible. De este modo, el sistema maximiza la eficiencia en el uso del recurso hídrico, evitando tanto el exceso como la escasez de agua en las plantas.

#### 3.1.5 Transmisión de Datos y Comandos

El funcionamiento del sistema se basa en un ciclo continuo de recopilación de datos, procesamiento, y ejecución de acciones. Los datos se transmiten a la plataforma de software mediante conexión inalámbrica, donde son analizados por un algoritmo para determinar el curso de acción que debe tomar, en caso de haber alguno,

Este flujo de trabajo permite una gestión automatizada y optimizada del cultivo, con mínima intervención humana. Además, el sistema puede ser configurado para operar parcialmente de forma autónoma, procesando ciertos comandos directamente en la unidad de control local.

## 4. GardenBot, la mejora.

Con lo planteado anteriormente sobre FarmBot, surgió la idea de la optimización de la totalidad de los procesos y del costo de dicho proyecto, renombrándolo como “GardenBot”. La idea que aquí se plantea es teórica, el objetivo final es poder llevarla a la práctica. Actualmente se está trabajando en un prototipo del mismo, utilizando Arduino.

### 4.1 Parámetros en consideración

Para obtener un punto de comparación previo entre ambos productos, tenemos que realizar un análisis de los componentes que forman el FarmBot y sus mejoras para GardenBot.

#### 4.2 Escalabilidad

Al querer escalar la producción, el FarmBot presenta un problema de redundancia. En su paquete de máximas dimensiones, se presenta de 3m de ancho por 6m de largo. Estas medidas, propias de su diseño, son una característica que analizamos como limitante ya que no pueden modificarse. Al querer optimizar la distribución del espacio en el hogar, el espacio debe adaptarse a FarmBot y no al revés.

El GardenBot busca ser irrestricto en dimensiones y poder ser escalable tanto en largo como ancho, en otras palabras, permite la expansión modular sin crecer la estructura de la unidad.

#### 4.3 Adaptabilidad

En relación a lo anterior, no poder escalarlo de una forma directa y sencilla, sería un problema adaptabilidad al entorno. FarmBot solo puede adaptarse a ciertas medidas específicas previamente mencionadas.

GardenBot busca poder adaptarse a múltiples huertos independientemente del tamaño y disposición de los mismos.

#### 4.4 Mercado

El FarmBot es un producto ya establecido en su mercado y con cierto monopolio, ya que no posee competencia directa. El paquete inicial actual, llamado Genesis cuenta con un precio de U$S 4.495. Esto afecta a su accesibilidad a los diferentes hogares y/u organizaciones PyMES que requieran esta tecnología.

Con el GardenBot se busca ofrecer un producto muy similar a un precio menor, aumentando la accesibilidad económica del mismo. Se estima que el precio que se podría brindar cumpliendo con los mismos estándares que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



la versión Genesis de Farmbot otorga, estaría alrededor de los U$S 1.500.

A su vez, el poder lograr reconocimiento dentro de la República Argentina, podría lograr un mayor margen de uso, debido a que su aplicación podría ser desde ámbitos rurales, como huertos en campos, hasta zonas urbanas, como locales especializados en venta de cultivos orgánicos sin la aplicación de pesticidas u otros agroquímicos, o en terrazas de edificios de gran tamaño.

## 4.5 Rutinas

El sistema funciona en intervalos predefinidos, donde realiza una pasada completa por el riel y vuelta, previo a realizar esta actividad deberá asegurarse del correcto funcionamiento de todos sus componentes.

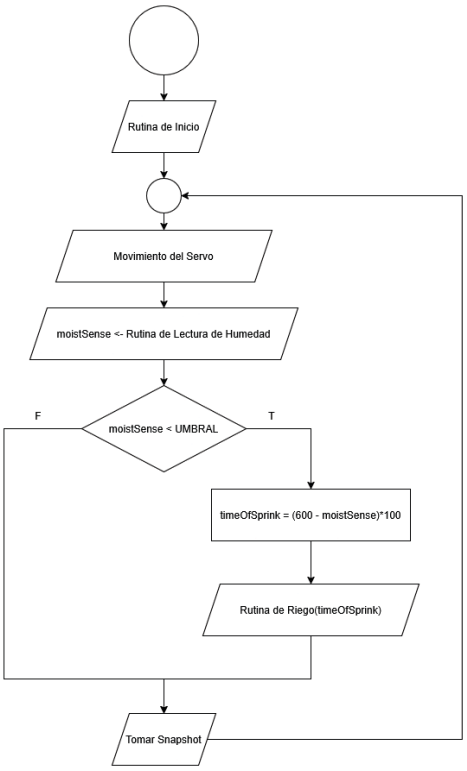



**Figura 3. Diagrama en pseudocódigo del loop principal**

### 4.5.1 Rutina de inicio

Al encender el sistema, la unidad de control ejecuta una verificación del estado de los componentes, revisando la conectividad de los motores, la funcionalidad de los sensores de humedad y fin de carrera, y la disponibilidad de la cámara. Posteriormente, el robot realiza un posicionamiento inicial, desplazando los ejes hasta encontrar los topes físicos (coordenadas 0,0,0).(Ver **Figura 3)**

### 4.5.2 Rutina de movimiento y sensado de humedad

El desplazamiento se lleva a cabo a lo largo del eje por medio de motores de precisión controlados por drivers. El movimiento está programado en intervalos fijos correspondientes a la distancia entre plantas en la línea de siembra. En cada intervalo, el sistema se detendrá y realizará una medición de la humedad, bajando el sensor para inyectar en la tierra a un lado del cultivo y leyendo las lecturas que devuelve. (Ver **Figura 4**)

```
MEASURE:
wait(settle_ms);
h=median(readSoilHumidity(Nreads));
state = DECIDE

DECIDE:
if (h < UMBRAL) state = WATER; else
state = SNAPSHOT

WATER:
moveZmm(Z_spray);
valve(ON); delay(t_on_ms); valve(OFF);
state = SNAPSHOT

SNAPSHOT:
triggerPhotoIfEnabled();
state = LOG

LOG:
logCSV(timestamp, positionsX[idx],
Zpos, h, t_on_ms_or_0, photo_id);
      state = NEXT_POINT
NEXT POINT:
moveZmm(Z_safe);
idx++;
if (idx < totalPoints) state =
MOVE_TO_POINT;
else state = DONE
```

**Figura 4. Pseudocódigo de rutinas**

### 4.5.3 Rutina de riego

Si el sistema registra un nivel de humedad por debajo del umbral predefinido, se activa la bomba de agua por un tiempo derivado de la lectura que dio el sensor capacitivo. La cantidad de agua usada es luego registrada para su trazabilidad.

## 4.6 Generación del prototipado

Teniendo en cuenta los parámetros comparativos mencionados, se realiza el planteamiento de un prototipo inicial del GardenBot. Debido a cuestiones económicas de público conocimiento nacional, nos limitamos a realizar un elemento que contenga en su estado inicial menos cantidad

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



de características pero que logre completar cuestiones básicas. También cualquier elemento relacionado a electrónica, se busca que sea alimentado por baterías hasta que se desarrolle un mecanismo de alimentación correspondiente que no requiera de las mismas.

#### 4.6.1 Movimiento escalable

Una de las razones principales por la que surge este proyecto, es la poca escalabilidad que tiene el FarmBot en relación a lo que se plantea con el GardenBot, se busca que el sistema de movimiento de nuestro robot pueda ser lo suficientemente práctico para que logre una escalabilidad sin problemas. Teniendo esto en mente, se logra llegar a los siguientes mecanismos.

Para poder sustituir el principal limitante del FarmBot que es su marco de movimiento, se planteó un sistema de raíles por los laterales de los huertos. Dentro de la acotación de nuestro prototipo, solo consideramos un solo huerto, para evitar el problema de las curvas, que se desarrollará posteriormente.

Uno de los diseños que surgió fue la utilización de raíles y ruedas iguales que las que se usan en trenes adaptado al tamaño de nuestro prototipo, rápidamente se notó que conllevan a problemas de suciedad debido a elementos circundantes del huerto que pueden afectar su desplazamiento y conllevar a un posible "descarrilamiento" a su vez, el costo del mismo puede ser elevado.

Similar a este modelo planteado, era la utilización de raíles en forma de "cremallera", donde hay un mayor agarre entre riel/rueda pero se mantenían los problemas de suciedad y costo.

Aun así en estas circunstancias, se logra poder obtener alternativas viables según nuestras necesidades actuales. Existen modelos más baratos como la utilización de cadenas o de guías con perfiles 2040 de aluminio o plástico. En el primer caso se tiende una cadena a lo largo del huerto y se plasma un engranaje con su respectivo motor en el GardenBot para poder realizar el desplazamiento, en el segundo caso, se realiza la misma idea pero el recorrido de la guía va internamente en el perfil 2040 con un sistema de tracción en V; ambas ideas logran solucionar el costo económico de los sistemas de movimiento previos, aunque se mantienen problemas de suciedad.

#### 4.6.2 Sensor de humedad

Dentro de las capacidades sencillas y económicas, se encuentra la medición de humedad, una de tantas cosas que puede hacer el FarmBot, por sencillez de la característica, se agrega al GardenBot.

Permite obtener datos importantes sobre la humedad del compuesto de tierra que se esté utilizando y su estado en dicho momento de medición; utilizando un sensor capacitivo analógico *Capacitive Moisture 1.2*.

#### 4.6.3 Sistema de riego

Ya que tenemos la capacidad de poder medir la humedad del compuesto, con ese valor podemos tomar la decisión de regar o no dicho sector en el cual el GardenBot está realizando las mediciones. Como nuestro prototipo es de un tamaño pequeño a mediano, se optó por la *Water-Pump-120LH*.

### 4.7 Estado actual y futuro

Considerando los elementos previamente mencionados e incorporándolos en nuestro prototipo, el GardenBot no llega a ser lo suficientemente cercano a lo que es el FarmBot, pero se busca que después de cierto tiempo de desarrollo del mismo se puedan adaptar todas las características del FarmBot en el GardenBot.

Algunas de estas son: cabezales intercambiables, reconocimiento de cultivo, plantación automática, etc.

A futuro se busca poder realizar el escalado en grandes magnitudes de nuestro prototipo, en relación a su movimiento, a través de alguno de los siguientes mecanismos que se van a desarrollar.

#### 4.7.3 Mecanismos de movimiento escalables

Como la principal característica limitante del FarmBot que nosotros consideramos posible de cambiar para obtener un elemento más optimizado, es el mecanismo de movimiento, previamente explicado.

Para poder solventar esto y adaptarlo a nuestro modelo se ha pensado en los siguientes mecanismos de movimiento

Suponiendo que los huertos se encuentran subsecuentes entre sí, sin considerar la distancia entre los mismos, uno de los mecanismos es el *Riel en S*. Como su nombre lo menciona, se busca que el riel de movimiento se encuentra al costado de los cajones, partiendo de un huerto inicial del extremo de la zona de cultivo y que su recorrido sea por el exterior de los mismo, y al llegar al final de éste, se genere una curva de enganche con el siguiente huerto para que el GardenBot pueda continuar (Ver **Figura 5**).

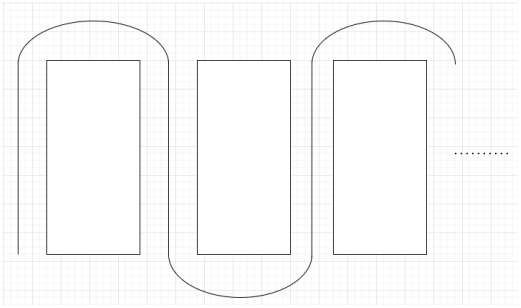


**Figura 5. Sistema de movimiento *Riel en S***

La principal ventaja es que si un huerto es lo suficientemente ancho como para almacenar varias plantas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



que requieran un espacio de 2 plantas de ancho, el GardenBot puede examinar ambos lados; a su vez la carencia de este sistema es que como nuestro prototipo no presenta un brazo giratorio, cuando avance a los huertos que se presentan en orden par (2,4,6, etc.), estos no serán analizados por las herramientas, ya que no hay posibilidad de giro al realizar la curva. La solución ante esto es, implementar un brazo giratorio, que en el estado actual implica complejidad que no es necesaria, o al final del recorrido realizar un "rulo de giro" para que pueda analizar los huertos faltantes.

El siguiente sistema, surge por la carencia del anterior, lo llamaremos *Doble riel en S*. Lo que se realiza es que al iniciar desde el extremo, se empieza con un riel sobre el lateral, y cuando realiza la primer curva, entre el primer y segundo huerto, se va a encontrar un doble riel, uno para para cada lado de los respectivos huertos (Ver **Figura 6**).

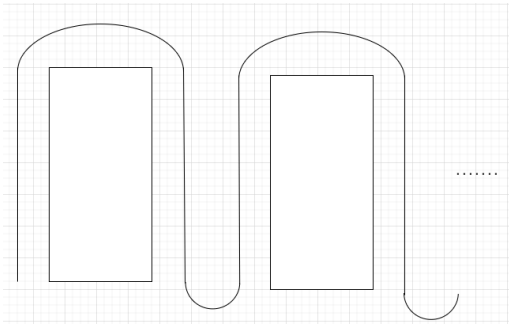


**Figura 6. Sistema de movimiento *Doble riel en S***

Esto solventa el problema del primer diseño, pero conlleva otro, las curvas pronunciadas. Estas curvas pueden afectar el movimiento ya que al ser tán cerradas, podría implicar que tengamos que combinar sistemas de movimiento entre rieles y cremalleras, afectando la característica económica de este proyecto.

Por último, encontramos el mecanismo de *Movimiento sobre vértice*. Éste busca eliminar el problema que pueden generar las curvas a través de establecer vértices de giro entre los rieles utilizando componentes electrónicos (Ver **Figura 7**).

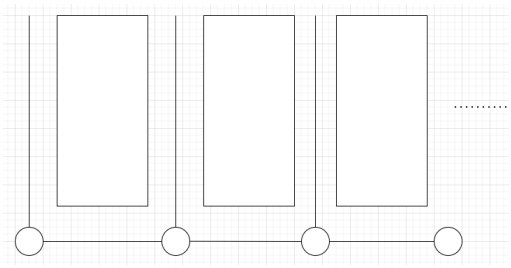


**Figura 7. Sistema *Movimiento sobre vértice***

La complejidad que agrega este modelo es la componente electrónica en los vértices donde se realiza la rotación del GardenBot, ya que cada vértice requeriría un mecanismo de giro y que sea capaz de identificar el sentido de giro que debe realizar.

#### 4.7.4 Roadmap y pasos futuros

El plan de trabajo se estructuró en etapas semanales, priorizando la integración progresiva de subsistemas y la validación de funcionalidades críticas.

- **Semanas 1–2:** Ensamblaje del riel y carro; implementación de homing en eje X; montaje de bomba y válvula.
- **Semanas 3–4:** Construcción del eje Z con soporte para sensor y boquilla; implementación de homing en eje Z.
- **Semanas 5–6:** Calibración de la relación tiempo–volumen (ms → ml); robustecimiento de la lectura de humedad.
- **Semanas 7–8:** Ejecución de ciclo automático completo; generación de dataset en formato CSV con captura fotográfica por posición.
- **Semanas 9–10:** Pruebas en cama de cultivo real; obtención de métricas de desempeño.
- **Semanas 11–12:** Implementación de carcasa con protección IP, ordenamiento del cableado y validación del sistema de parada de emergencia (E-STOP).
- **Semanas 13–14:** Documentación final, preparación de pitch de presentación y grabación de vídeo demostrativo.

## Referencias

[1] N. Lazarus, S. S. Bedair, C. -C. Lo and G. K. Fedder, "CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor," in Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 19, no. 1, pp. 183-191, Feb. 2010, doi: 10.1109/JMEMS.2009.2036584.

[2] Murcia, V.A., Palacios, J.F., Barbieri, G. (2021). *FarmBot Simulator: Towards a Virtual Environment for Scaled Precision Agriculture.* In: Trentesaux, D., Borangiu, T., Leitão, P., Jimenez, JF., Montoya-Torres, J.R. (eds) Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future. SOHOMA 2021. Studies in Computational Intelligence, vol 987. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80906-5_16

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[3] Cruz, J., Herrington, S., & Rodriguez, B. (2014). *Farmbot*. California Polytechnic State University - San Luis Obispo. https://digitalcommons.calpoly.edu/mesp/241

[4] Murdyantoro, B., Atmaja, D. S. E., & Rachmat, H. (2019). *Application design of Farmbot based on Internet of Things (IoT). Vol. 9(4)*, 2019. School of Industrial and System Engineering, Telkom University. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/98735370/2021%E2%80%91libre.pdf%E2%80%A6

[5] FarmBot. (n.d.). *FarmBot: Open-source precision farming robot.*, from https://farm.bot/?srsltid=AfmBOorrvQ_XAzWH052AGBawR5FdM5D6aX_X4bPPBbFHXpJEJpG7eIa5

[6] Kumar, P., & Smith, M. (2020). *Automation in Agriculture: Advancements and Future Directions*. Robotics and Automation Engineering Journal, 12(3), 45-60.

[7] Yang, X., Zhang, L., & Wu, D. (2019). *Smart Irrigation Systems in Agriculture: A Review of Techniques, Challenges, and Future Directions*. Environmental Science and Technology, 53(4), 1232-1245.

[8] **Arduino.** (2025). Recuperado de https://docs.arduino.cc

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Generación automática de resúmenes de entrevistas radiales mediante el uso de Inteligencia Artificial

**Gabriela Alejandra Matheu, Romeo Luis Picarel, Matias Nahuel Acuña.**

{gamatheu, rpicarel, mnacuna}@comunidad.unnoba.edu.ar

***Escuela de Tecnología (ET)***
***Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA)***

**Abstract**
*Este trabajo presenta una prueba de concepto de un sistema automatizado basado en inteligencia artificial (IA) para la generación de resúmenes de entrevistas radiales, integrando herramientas de transcripción, síntesis y difusión automatizada del contenido. El sistema emplea WhisperX para transcribir y segmentar el audio por hablantes, Gemini 2.0 Flash para generar resúmenes híbridos estructurados, y WordPress para compartirlos de forma automatizada. Se realizaron pruebas con entrevistas reales, en diferentes idiomas, calidades de audio y cantidad de participantes. Los resultados muestran la viabilidad técnica y el potencial del enfoque, aunque con limitaciones que requieren validaciones adicionales antes de su aplicación en entornos productivos.*
*La solución demuestra ser eficaz para reducir tiempos, estandarizar resultados y facilitar la difusión de contenidos radiales, abriendo nuevas posibilidades para la automatización de tareas periodísticas mediante IA.*

**Palabras Clave**
inteligencia artificial, procesamiento de lenguaje natural, entrevistas radiales, transcripción automática, generación de resúmenes.

## 1. Introducción

En el último tiempo, la IA ha tomado una gran importancia en diferentes áreas, en especial en el procesamiento de lenguaje natural (PLN, Natural Language Processing, NLP en inglés).

Asimismo, uno de los desafíos frecuentes en medios de comunicación, como la radio, es la generación de resúmenes de entrevistas.

En la era digital, los contenidos extensos —como las entrevistas radiales— se benefician significativamente al ser adaptados y difundidos en redes sociales mediante formatos breves, más adecuados para el consumo rápido de información.

Tradicionalmente, esta tarea se realiza de forma completamente manual. El proceso involucra la escucha atenta de la grabación, la síntesis del contenido más relevante, su estructuración textual y, finalmente, compartirlo en algún medio digital o impreso. Cada una de estas etapas requiere tiempo, concentración y habilidades de redacción, lo que genera una alta demanda de recursos humanos y variabilidad en la calidad final, dependiendo de quién lo realice.

En este contexto, resulta de gran utilidad desarrollar un sistema capaz de generar resúmenes atractivos y representativos de los principales temas abordados en una entrevista, especialmente cuando se trabaja con grandes volúmenes de contenido.

Este tipo de soluciones se enmarcan en una transformación más amplia del periodismo, donde la IA redefine tanto la producción como la distribución de contenidos. Según Túñez-López et al. [1], estas tecnologías no sólo automatizan tareas repetitivas, sino que también permiten modelos informativos más personalizados, multiformato y orientados a la interacción con audiencias específicas.

Existen distintos enfoques principales para la generación automática de resúmenes:

- *Extractivo*: selecciona partes del texto original que se consideran relevantes y luego las une para formar el resumen.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- *Abstractivo*: Genera un resumen nuevo y fluido con base en el contenido original.
- *Híbrido*: Combinación de ambos enfoques (extractivo y abstractivo), donde primero se extraen las frases más relevantes y luego se generan nuevas frases o se reescriben. Combina lo mejor de ambos mundos, manteniendo la coherencia y fluidez del resumen, mientras se preserva la información importante.

Este último resulta especialmente apropiado para las entrevistas radiales, dado que estas suelen presentar información no lineal y escasa estructuración formal.

La automatización de este flujo de trabajo no solo tiene el potencial de optimizar tiempos y recursos, sino también de ofrecer una mayor estandarización en la calidad de los resúmenes. En este contexto, el presente trabajo explora la posibilidad de utilizar herramientas basadas en IA para automatizar dicho proceso, desde la transcripción hasta compartir el contenido en la web, aplicando modelos de lenguaje extensos (LLM, *Large Language Models*, por sus siglas en inglés) y tecnologías de diarización y síntesis textual.

El resto de este documento se organiza de la siguiente manera: la *Sección 2* presenta los objetivos del estudio; la *Sección 3* revisa el estado del arte y los principales antecedentes en procesamiento de lenguaje natural y generación automática de resúmenes; la *Sección 4* describe la arquitectura de la solución propuesta; la *Sección 5* detalla las herramientas empleadas y el proceso de implementación; la *Sección 6* expone los resultados obtenidos y su análisis; y la *Sección 7* presenta las conclusiones, limitaciones y posibles líneas de trabajo futuro.

## 2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es demostrar la viabilidad técnica de un sistema automatizado para la transcripción, análisis y generación de resúmenes de entrevistas radiales, explorando para ello el uso combinado de herramientas de IA y PLN.

De forma más específica, se busca explorar un flujo automatizado para:

- Transcribir el audio con segmentación por hablante.
- Sintetizar el contenido en formato estructurado (título, subtítulos temáticos, conclusión).
- Generar, obtener y eventualmente compartir en línea el resumen estructurado de entrevistas.
- Comparar la calidad (en términos de precisión y coherencia) y la eficiencia (medida en tiempos de procesamiento) de los resúmenes generados automáticamente mediante modelos LLMs, frente a los resúmenes realizados manualmente.
- Evaluar el desempeño del sistema con entrevistas reales, considerando aspectos como la fidelidad de la transcripción, la relevancia de los fragmentos sintetizados, y la experiencia de uso de la herramienta.

## 3. Estado del arte

El PLN es un campo de las ciencias de la computación, de la IA y de la lingüística que estudia las interacciones entre las computadoras y el lenguaje humano, así como los detalles computacionales de las lenguas naturales. Se ocupa de la formulación e investigación de mecanismos eficaces computacionalmente para la comunicación entre personas y máquinas por medio del lenguaje natural. En el periodismo, constituye la base de aplicaciones como la transcripción

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



automática y la generación de resúmenes, esenciales en el tratamiento de entrevistas radiales.

Estudios recientes muestran que la IA está transformando las rutinas de las redacciones, no solo por su capacidad para acelerar la elaboración de titulares y resúmenes (Cools & Diakopoulos, 2024) [2], sino también por su aporte en tareas como el periodismo de datos, la verificación de información y la automatización de contenidos (Revista de Comunicación, 2024) [3]. Estas soluciones buscan principalmente mejorar la productividad de los equipos, ampliar la cobertura informativa y optimizar la detección temprana de tendencias y noticias. Un ejemplo práctico es News Tracer de Reuters, que permite identificar y verificar en tiempo real información emergente en redes sociales (Liu et al., 2017) [4]. También se han documentado experiencias en medios como Associated Press y The Washington Post, que han utilizado IA para la automatización de notas deportivas, financieras y de última hora, evidenciando el potencial de estas herramientas para tareas rutinarias y de alto volumen (Carlson, 2015) [5].

En el caso de las entrevistas periodísticas, investigaciones han explorado el uso de modelos extractivos y abstractivos para sintetizar conversaciones extensas (Zhong et al., 2021) [6], mientras que otros trabajos analizan el impacto de la IA generativa en la redacción y edición, destacando tanto su potencial de eficiencia como los desafíos sobre autoría y calidad informativa (Lopezosa et al., 2023 [7]; Salaverría, 2024 [8]).

Este estudio se ubica en esa línea, proponiendo una solución específica para la síntesis automática de entrevistas radiales mediante sistemas de transcripción y resumen que priorizan la fidelidad informativa.

### 3.1. **Transcripción Automática como Etapa Inicial del PLN**

La transcripción automática (ASR Automatic Speech Recognition, por sus siglas en inglés) consiste en transformar grabaciones de audio en texto mediante algoritmos de aprendizaje automático, reemplazando el minucioso proceso de tomar notas manualmente. Estos sistemas identifican patrones, segmentan el discurso y generan un texto estructurado que puede reutilizarse.

Entre las soluciones más destacadas se encuentran:

- Whisper (OpenAI, 2022): es un modelo multilingüe robusto, entrenado con ~680.000 horas de datos, que se caracteriza por su tolerancia al ruido y a diferentes acentos, aunque sus versiones más grandes requieren hardware de alto rendimiento y presentan limitaciones en la alineación temporal [9].
- WhisperX, desarrollado por la comunidad como una extensión de Whisper, mejora la precisión de las marcas de tiempo y la diarización, optimiza el uso de recursos y facilita la detección automática de idiomas, lo que lo convierte en una herramienta especialmente útil para entrevistas radiales complejas y para la preparación de contenidos listos para ser compartidos [10].

### 3.2. **Modelos de Lenguaje Extensos para Generación de Resúmenes**

Sobre la base textual obtenida de la transcripción, se incorpora una segunda etapa: la síntesis automática mediante LLMs, redes neuronales transformadoras entrenadas con grandes volúmenes de datos capaces de generar resúmenes coherentes y contextualizados.

Diversas alternativas han sido evaluadas:

- Claude (Anthropic), reconocido por su precisión y coherencia en la redacción, aunque con limitaciones de acceso gratuito [11].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- GPT (OpenAI), uno de los modelos más potentes, con buena capacidad de síntesis, pero con costos relativamente altos de uso [12].
- mT5 y mBART, modelos multilingües que requieren fine-tuning adicional para tareas de resumen, lo que incrementa la complejidad y el coste computacional [13][14].
- LLaMA (Meta), opción de código abierto que ofrece desde modelos ligeros (1B–3B) adecuados para resumen hasta variantes multimodales más potentes (11B–90B), aunque estas últimas demandan recursos avanzados [15].
- Gemini 2.0 Flash (Google), que prioriza la velocidad de respuesta y está disponible de forma gratuita vía Google AI Studio, lo que facilita su integración en flujos de trabajo [16].

## 4. Arquitectura

Tal como se muestra en la *Figura 1* la solución propuesta se diseñó siguiendo una arquitectura modular, compuesta por etapas claramente diferenciadas que permiten el procesamiento automatizado de grabaciones de audio para la generación de resúmenes. Esta estructura facilita la independencia entre componentes, lo que permite reemplazar o actualizar tecnologías específicas sin afectar el funcionamiento general del sistema.

El flujo de trabajo se inicia con la carga de la entrevista en formato de audio. En la siguiente etapa, el sistema realiza la transcripción, alineación y segmentación del audio, identificando tanto el contenido textual como los momentos en que se produce cada intervención. Luego, este texto es procesado en una tercera etapa, donde se genera un resumen del contenido a partir del texto transcrito, con el objetivo de sintetizar la información de manera coherente y comprensible. Finalmente, el resumen resultante es formateado, permitiendo la descarga de este, y compartido automáticamente en un entorno web para su visualización.

Para la generación de resúmenes se adoptó un enfoque híbrido, con predominio del método abstractivo, atendiendo a las particularidades de las entrevistas radiales mencionadas en la introducción. Este tipo de enfoque posibilita reinterpretar y reorganizar el contenido transcrito, produciendo un texto más claro, coherente y representativo. Al mismo tiempo, mantiene la flexibilidad de incorporar citas textuales seleccionadas, que pueden emplearse como encabezados llamativos para resaltar fragmentos relevantes de la entrevista.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



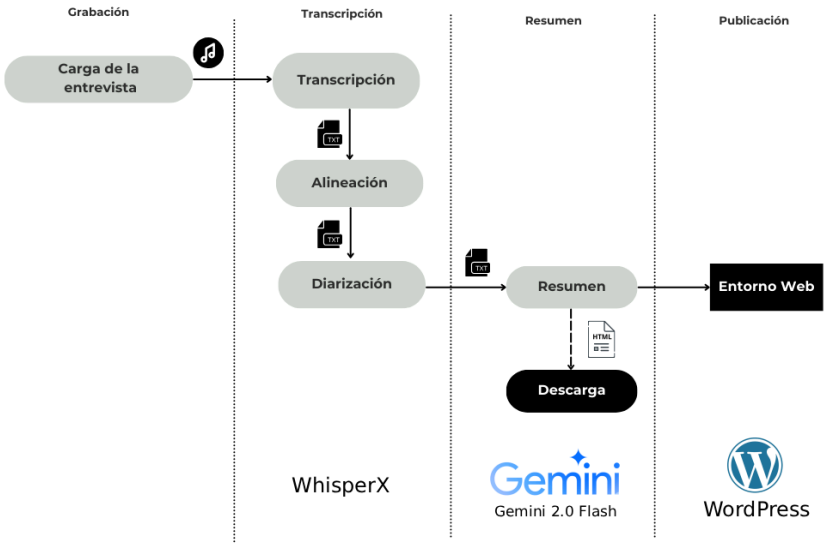



**Figura 1**. Arquitectura general de la solución propuesta.

## 5. Herramientas e Implementación

La solución fue desarrollada en Google Colaboratory, lo que permitió acelerar el trabajo colaborativo en la nube sin requerir configuración local. Para la transcripción de audio y diarización se utilizó WhisperX, herramienta de código abierto que mejora la precisión temporal y el reconocimiento multilingüe respecto a Whisper, con mejor desempeño en entrevistas largas y con múltiples hablantes. La generación de resúmenes se realizó mediante Gemini 2.0 Flash, un modelo LLM accesible y eficiente para tareas de síntesis. Se optó por este modelo debido a su equilibrio entre velocidad, calidad y disponibilidad gratuita vía Google AI Studio, lo que permitió su integración sin necesidad de entrenamiento adicional.

El modelo fue invocado mediante un prompt estructurado que especificaba el formato esperado del resultado (título, subtítulos temáticos y conclusión), junto con instrucciones para mantener un estilo informativo y sintético, evitando repeticiones o interpretaciones subjetivas.

Este prompt permitió mantener una estructura coherente y comparable entre los diferentes casos evaluados.

La versión completa del prompt y las variaciones utilizadas se encuentran documentadas en el Apéndice Técnico [19].

Para la difusión automática de los resúmenes, se utilizó WordPress [17] mediante su interfaz de programación de aplicaciones (API, Application Programming Interface) con estilo REST (Representational State Transfer). Esta elección facilitó la visualización de resultados sin requerir infraestructura adicional y permitió mantener una estructura HTML adecuada para la lectura en la web.

A continuación, se presenta una descripción general de la implementación realizada y su flujo de funcionamiento. Para una explicación más detallada,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



incluyendo aspectos técnicos, el código fuente, librerías utilizadas y resultados obtenidos puede consultar las referencias [18][19][20][21][22][23].

El sistema guía al usuario desde la carga del audio hasta la generación, descarga y difusión del resumen en la web. Se ofrece configuración de parámetros como idioma o cantidad de hablantes, y el resultado puede visualizarse, exportarse en HTML o compartirse automáticamente en WordPress (Véase Figura 2).

## 6. Resultados obtenidos

### 6.1. Descripción de las muestras e interpretación de resultados

Para evaluar la calidad de los resúmenes generados automáticamente por el sistema, se implementó un procedimiento de validación específico basado en una rúbrica estructurada. Dado que la evaluación de resúmenes implica cierto grado de interpretación y no permite una comparación estrictamente objetiva, se optó por una metodología manual.




**Figura 2.** Ejemplo de previsualización del resumen generado por la interfaz.

Esta decisión se fundamenta en las limitaciones observadas en alternativas automatizadas, como el uso de otros modelos de lenguaje para validar resultados, los cuales introducen sesgos inherentes a su propio entrenamiento y funcionamiento.

Para un mayor nivel de detalle, se invita al lector a consultar los anexos correspondientes, donde se incluyen:

- Los archivos empleados en el proceso, que comprende tanto las transcripciones automáticas como las manuales, además de los resúmenes automáticos. [27]
- Los enlaces a las entrevistas utilizadas, los resúmenes generados automáticamente junto con el desglose de las puntuaciones asignadas a cada uno y la justificación de dichas evaluaciones. [28]

Con este propósito, se diseñó un sistema claro y replicable que, si bien mantiene un componente subjetivo, busca asegurar consistencia y transparencia en la evaluación. Se estableció una escala de puntaje del 1 al 5 basada en criterios observables, definida de la siguiente manera:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**5**: El resumen cumple los puntos pedidos (título, descripción, etc.), toda su información es verídica e incluye todos los temas importantes tratados en la entrevista.

**4:** El resumen cumple los puntos pedidos, toda su información es verídica, pero omite algunos de los temas importantes o presenta demasiadas formulaciones no literales, es decir, no presentes esa forma en la entrevista.

**3**: El resumen cumple los puntos pedidos, algunas afirmaciones son erradas, aunque contiene todos los temas importantes.

**2**: El resumen cumple los puntos pedidos, pero la información es errada y omite temas importantes.

**1**: El resumen no cumple los puntos pedidos.

**Tabla 1.** Detalle de las entrevistas seleccionadas

| Entrevista | Cantidad de participantes | Nombres | Música/Ruido de fondo | Idioma |
|---|---|---|---|---|
| Entrevista 1 | 2 (1 mujer y un hombre) | Maria Laura Santillán<br>Rodolfo Barili | NO | Español Argentina |
| Entrevista 2 | 2 (2 mujeres) | Lali Esposito<br>Cecilia Gimenez | SI | Español Argentina |
| Entrevista 3 | 3 (2 mujeres y un hombre) | Alejandro Sergi<br>Juliana Gattas<br>Tatiana Schapiro | NO | Español Argentina |
| Entrevista 4 | 2 (1 mujer y un hombre) | Jimmy Fallon<br>Anne Hathaway | SI | Inglés |
| Entrevista 5 | 2 (2 hombres) | Conan O'Brien<br>Vin Diesel | SI | Inglés |
| Entrevista 6 | 5 (4 hombres y una mujer) | Los Nocheros (4)<br>Paula Cháves | SI | Español Argentina |
| Entrevista 7 | 2 (2 hombres) | Duki<br>David Broncano | SI | Español Argentina<br>y Español España |
| Entrevista 8 | 3 (2 hombres y una mujer) - 2 niños | Rodrigo Noya<br>Agustina Noya<br>Daddy Brieva | SI | Español Argentina |
| Entrevista 9 | 2 (2 hombres) | Ernesto Sabato<br>Joaquín Soler Serrano | NO | Español Argentina |

**Tabla 2.** Pruebas de generación de resúmenes de entrevistas y sus resultados.

| Entrevista | Duración de la entrevista | Tiempo total de procesamiento | Validación Resumen |
|---|---|---|---|
| Entrevista 1 | 42:07 | 6m 15s | 4/5 |
| Entrevista 2 | 17:50 | 2m 36s | 4/5 |
| Entrevista 3 | 40:14 | 5m 58s | 5/5 |
| Entrevista 4 | 10:22 | 1m 42s | 5/5 |
| Entrevista 5 | 11:39 | 1m 38s | 5/5 |
| Entrevista 6 | 12:34 | 1m 37s | 5/5 |
| Entrevista 7 | 27:22 | 3m 29s | 3/5 |
| Entrevista 8 | 6:47 | 1m 3s | 4/5 |
| Entrevista 9 | 2:52 | 36s | 4/5 |

Una vez definida la metodología de evaluación, se seleccionó un conjunto de entrevistas representativas, procurando incluir diversidad en cuanto a idioma,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



cantidad y tipo de hablantes, edades, calidad del audio y otros factores que pudieran suponer desafíos para el sistema. En la *Tabla 1*, se detallan las características de cada una.

### 6.2. **Resultados y análisis**

Los resultados obtenidos permiten confirmar la factibilidad técnica del sistema propuesto, evidenciando un desempeño prometedor en las pruebas iniciales. Sin embargo, se trata de una evaluación exploratoria que requiere un mayor número de casos y validaciones adicionales.

La evaluación de los resúmenes fue realizada por un integrante del equipo, quien aplicó la rúbrica descripta y asignó a cada caso un puntaje según el desempeño observado.

Los resultados obtenidos tras la evaluación de las entrevistas se detallan en la *Tabla 2*.

## 7. **Conclusiones**

La prueba de concepto demuestra la viabilidad técnica del enfoque propuesto, mostrando resultados alentadores en cuanto a precisión y coherencia. No obstante, se requieren etapas posteriores de desarrollo y validación para consolidar su aplicación práctica.

Con el modelo Gemini 2.0 Flash se logró generar resúmenes estructurados de alta calidad, con una puntuación promedio superior a 4/5 en la rúbrica especificada.

El sistema alcanzó una puntuación promedio de más de 4 puntos sobre 5, evidenciando que los resúmenes fueron, en general, completos, coherentes y fieles al contenido original, incluso en condiciones de audio variadas, idiomas distintos o con múltiples hablantes. Sin embargo, por los detalles que impidieron alcanzar la puntuación perfecta, como algún nombre mal escrito en alguna instancia, y los casos con más errores, sería recomendable que pasen por algún proceso de revisión manual antes de su difusión si se desea obtener un resultado más profesional.

WhisperX alcanzó entre 74 % y 99 % de precisión en la transcripción, dependiendo del audio. La integración con WordPress permitió compartir automáticamente los resúmenes, conservando su estructura y formato.

Basándonos en las pruebas realizadas, se puede observar que los mejores resultados se obtuvieron en las entrevistas en español, con pocos participantes y sin ruido de fondo. En contraste, la calidad disminuyó en casos con múltiples hablantes, niños, jergas locales o ruido ambiental, factores que afectaron tanto la transcripción como la coherencia del resumen generado.

### 7.1. **Limitaciones**

Esta prueba de concepto presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados.

En primer lugar, la evaluación realizada fue de carácter exploratorio y con alcance limitado, tanto en el número de entrevistas analizadas como en el perfil de los evaluadores, restringido a integrantes del propio equipo de desarrollo. Esto implica que las valoraciones reflejan principalmente una perspectiva técnica, sin incorporar aún la mirada de especialistas en redacción o comunicación.

Además, la cantidad reducida de entrevistas evaluadas se debió a limitaciones de tiempo durante el desarrollo del trabajo, lo que impidió realizar pruebas más extensas y abarcativas.

Desde el punto de vista técnico, el procesamiento de los modelos implicó una alta demanda de recursos computacionales, lo cual obligó a utilizar servicios en la nube como Google Colab y la API de Google Generative AI. Estas plataformas presentan límites de uso (tiempo y capacidad de GPU) que redujeron la escala de las pruebas posibles.

Finalmente, la dependencia de recursos externos supone que la ejecución del

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistema en condiciones reales requeriría hardware más potente o servicios en la nube de mayor capacidad, lo que podría representar una barrera para su adopción generalizada.

### 7.2. **Perspectivas futuras**

Como línea de trabajo futuro, se propone ampliar la base de evaluación, incorporando entrevistas más extensas, en más idiomas y con mayor diversidad de hablantes, condiciones acústicas y formatos.

También se plantea flexibilizar la generación de resúmenes, permitiendo al usuario personalizar la longitud, estructura y nivel de detalle del texto generado según las necesidades del medio o la audiencia.

En el plano técnico, será importante explorar mejoras en la eficiencia y escalabilidad del sistema, con el fin de facilitar su uso en entornos con hardware más accesible.

Por otro lado, se sugiere ampliar la validación del sistema incluyendo múltiples evaluadores y especialistas en Ciencias de la Comunicación, lo cual permitiría enriquecer la valoración de los resúmenes desde una perspectiva periodística y lingüística, reduciendo el sesgo subjetivo y fortaleciendo la evaluación de calidad.

Asimismo, se plantea incorporar prompts editables o plantillas adaptadas a distintos medios de publicación (por ejemplo, versiones para redes sociales, blogs o artículos periodísticos), de modo que el sistema pueda ajustar el tono, extensión y nivel de detalle del resumen según la audiencia o plataforma destino.

En conjunto, esta prueba de concepto demuestra la viabilidad técnica del enfoque propuesto, sentando una base sólida para futuros desarrollos orientados a una implementación más completa y validada interdisciplinariamente.

## 8. **Agradecimientos**

El presente trabajo fue realizado en el marco de la asignatura Sistemas Inteligentes. Los autores expresan su sincero agradecimiento a los docentes Lic. Leonardo Martín Esnaola y Dr. Juan Pablo Tessore por su guía, dedicación y acompañamiento.

## **Referencias**

[1] Túñez-López, J. M., Fieiras Ceide, C., Vaz-Álvarez, M. (2021). *Impacto de la Inteligencia Artificial en el Periodismo: transformaciones en la empresa, los productos, los contenidos y el perfil profesional*. Communication & Society, 34(1), 177–193.

[2] Cools, A., & Diakopoulos, N. (2024). Editorial algorithms: The impact of artificial intelligence on newsroom practices. Journalism & Mass Communication Quarterly, 101(1), 112–129. https://doi.org/10.1080/17512786.2024.2394558 (Accedido Agosto 2025).

[3] Revista de Comunicación. (2024). Inteligencia artificial en las redacciones: Innovaciones y desafíos. Revista de Comunicación, 23(1), 1–6. https://doi.org/10.26441/RC23.1-2024-3309 (Accedido Agosto 2025)

[4] Liu, X., Nourbakhsh, A., Shah, S., Martin, R., Duprey, J., Li, Q., & Ye, T. (2017). Reuters Tracer: A large-scale system of detecting & verifying real-time news events from Twitter. In 2017 IEEE International Conference on Big Data (pp. 1513–1522). https://doi.org/10.1109/BigData.2017.8258082 (Accedido Agosto 2025)

[5] Carlson, M. (2015). The robotic reporter: Automated journalism and the redefinition of labor, compositional forms, and journalistic authority. Digital Journalism, 3(3), 416–431. https://doi.org/10.1080/21670811.2014.976412 (Accedido Agosto 2025)

[6] A Zhong, M., Yin, D., Yu, T., Chen, M., Zhang, P., & Radev, D. (2021). MediaSum: A large-scale media interview dataset for dialogue summarization. arXiv. https://arxiv.org/abs/2104.06042 (Accedido Junio 2025).

[7] Lopezosa, C., Codina, L., Pont-Sorribes, C., & Vállez, M. (2023). Use of generative artificial intelligence in the training of journalists: Challenges, uses and training proposal. El

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Profesional de la Información, 32(4), e320408. https://doi.org/10.3145/epi.2023.jul.08 (Accedido Junio 2025).

[8] Salaverría, R. (2024). Metrics-driven news: The impact of data analytics on journalism. En S. Eldridge II, D. Cheruiyot, S. Banjac y J. Swart (Eds.), Routledge Companion to Digital Journalism Studies (2nda ed., pp. 166–174). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003334774-20. (Accedido Junio 2025).

[9]Whisper, Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2022). *Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.04356

[10] WhisperX Community. (2023). WhisperX: An enhanced speech recognition and alignment toolkit. https://arxiv.org/abs/2303.00747. (Accedido Junio 2025).

[11] Anthropic (2025). Introducción a Claude. https://docs.anthropic.com/es/docs/welcome. (Accedido junio de 2025).

[12] OpenAI. (2025). OpenAI API. Disponible en: https://openai.com/es-419/api/. (Accedido junio de 2025).

[13] Xue, L., Constant, N., Roberts, A., Kale, M., Al-Rfou, R., Siddhant, A., Barua, A. y Raffel, C. (2021). mT5: A massively multilingual pre-trained text-to-text transformer. arXiv preprint arXiv:2010.11934. https://arxiv.org/abs/2010.11934. (Accedido junio de 2025).

[14] Liu, Y., Li, M., Li, Y., Zhou, M., & Liu, C. (2020). Multilingual Denoising Pre-training for Neural Machine Translation. arXiv preprint arXiv:2001.08210. https://arxiv.org/abs/2001.08210. (Accedido junio de 2025).

[15] Touvron, H., Lavril, T., Izacard, G., Martinet, X., Lachaux, M.-A., Lacroix, T., Rozière, B., Goyal, N., Hambro, E., Azhar, F., Rodriguez, A., Joulin, A., Grave, E., & Lample, G. (2023). LLaMA: Open and Efficient Foundation Language Models. arXiv preprint arXiv:2302.13971. https://arxiv.org/abs/2302.13971. (Accedido junio de 2025).

[16] Google. (2025). Gemini API – Google AI Studio. Disponible en: https://ai.google.dev/. (Accedido junio de 2025).

[17] WordPress. (2025). Plataforma de creación de sitios web. https://wordpress.com/es/ (Accedido abril 2025).

[18] Matheu, G., Picarel, R., Acuña, M. (2025). Sistema de resumen de entrevistas. Github. https://github.com/romeopica/sistema-resumen-entrevistas/tree/main (Accedido junio 2025).

[19] Matheu, G., Picarel, R., Acuña, M. (2025). Apéndice técnico: Generación automática de resúmenes de entrevistas radiales mediante el uso de Inteligencia Artificial. Google Docs. https://docs.google.com/document/d/1sOR0SAJjmvhmRsXjt1kyl06S0PB45GEHBwvyL3gMGro (Accedido abril 2025).

[20] Matheu, G., Picarel, R., Acuña, M. (2025). Bitácora de Desarrollo del Trabajo. Google Docs. https://docs.google.com/document/d/10qqsTRQ_EpwjPUqHZoF6g77vMYMizxY7E8a5RfFXALo/edit?usp=sharing (Accedido abril 2025).

[21] Matheu, G., Picarel, R., Acuña, M. (2025). Sistema de generación de resumen automático. Google Colab. https://colab.research.google.com/drive/1_GbcL-Pzv0OTBZ5J0mjBXY45sG3ghOtU (Accedido abril 2025).

[22] Matheu, G., Picarel, R., Acuña, M. (2025). Carpeta compartida de entrevistas. Google Drive. https://drive.google.com/drive/folders/1ifj4z8QGzDvmDm5e8rcVOQS2aZsMHzEi (Accedido abril 2025).

[23] Matheu, G., Picarel, R., Acuña, M. (2025). Apéndice: Muestreo para sistema de generación automática de resúmenes de entrevistas radiales mediante el uso de Inteligencia Artificial Google Docs. https://docs.google.com/document/d/1UzHin5blq0B9hvSiGNrwCb-Kte8qWKjt1X8183YAd80/edit?usp=sharing (Accedido julio 2025).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Distribución óptima de repartidores para aumentar la capacidad de entrega diaria en una plataforma de delivery según franjas horarias

**García Linfozzi, María Sol; Gobbi, Micaela Nicole; Lamas, Chabela María**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**
*El uso de plataformas de delivery se ha convertido en una parte fundamental de la vida cotidiana. Por ello, la búsqueda constante de mejorar la eficiencia y optimizar los recursos de estos sistemas resulta esencial. En este contexto, el presente trabajo lleva a cabo una simulación utilizando la metodología de Evento a Evento con Tiempo Comprometido, que modela la gestión de pedidos según una cantidad específica de repartidores. El análisis se realiza considerando distintas zonas geográficas (área metropolitana, urbana y semi-urbana) y diferentes franjas horarias, que corresponden a las diversas partes del día: mañana, mediodía, tarde y noche. El objetivo es encontrar el equilibrio óptimo entre el tiempo de entrega de los pedidos y el número de repartidores necesarios para asegurar un servicio de calidad.*

**Palabras Clave**
Simulación, Tiempo Comprometido, Metodología de Evento a Evento, Distribución de repartidores de delivery.

## Introducción

El auge de las plataformas de entrega ha revolucionado la forma en que los consumidores obtienen bienes y servicios. Entre las más destacadas en India, Zomato se especializa en la distribución de alimentos y enfrenta el reto permanente de optimizar la asignación de sus repartidores por cada zona en donde se encuentra presente. De esta manera, el objetivo de la organización es asegurar un servicio que combine velocidad y eficiencia, manteniendo a su vez la sostenibilidad económica de sus operaciones [1].

La simulación constituye una herramienta esencial para el desarrollo de estrategias orientadas a la optimización del uso de los recursos disponibles. Esta técnica permite la creación de modelos que replican el funcionamiento de sistemas reales, los cuales pueden ser sometidos a escenarios hipotéticos con el fin de prever su comportamiento futuro a partir de los datos generados por dichos modelos [2].

En este contexto, el objetivo del presente trabajo, llevado a cabo dentro del marco de la cátedra de "Simulación" en el cuarto año de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, es modelar el funcionamiento del sistema de delivery, optimizando la asignación de repartidores para lograr una mayor capacidad de entrega diaria.

Es importante destacar que, este análisis constituye la continuación de una investigación previa en el mismo ámbito, la cual adopta un enfoque más general al estudiar el modelo según el día de la semana. En cambio, en el presente trabajo se evalúa el modelo en función de diversas franjas horarias, que corresponden a *mañana*, *mediodía*, *tarde* y *noche*. Cabe señalar que, se decide realizar cuatro análisis distintos de acuerdo a sus funciones de densidad de probabilidad, con el objetivo de lograr una representación más precisa de la realidad. Por consiguiente, se logra equilibrar la demanda fluctuante, especialmente en los horarios de mayor actividad, con la disponibilidad de personal, asegurando una asignación eficaz, minimizando los tiempos de espera, procurando la satisfacción del cliente.

El trabajo se organiza del siguiente modo: en la primera sección se describen los componentes del sistema y la metodología empleada para desarrollar la simulación. La segunda sección presenta los resultados obtenidos al aplicar la simulación a diversos escenarios de demanda y distribución de repartidores. En la tercera

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sección, se lleva a cabo un análisis crítico de estos resultados, evaluando su impacto en la operación del sistema. Por último, la cuarta sección expone las conclusiones del estudio.

## 1. Elementos del Trabajo y metodología

La metodología empleada para la realización de esta simulación es la de Evento a Evento con Tiempo Comprometido. Esta técnica avanza el tiempo del modelo de manera que se sincronice con la ocurrencia del próximo evento. Este enfoque también emplea el Tiempo Comprometido para actualizar las variables de estado, lo que facilita el registro y la gestión precisa de los tiempos asociados a cada repartidor. El uso del Tiempo Comprometido resulta apropiado, ya que los sistemas de delivery actuales implementan algoritmos capaces de predecir con exactitud el tiempo necesario para completar una entrega. Esto permite asignar al cliente el repartidor que finalizará primero con sus pedidos, optimizando el tiempo de espera del consumidor [3].

Antes de implementar el modelo y simular los escenarios planteados, con la finalidad de aumentar la precisión y similitud con la realidad, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de las variables involucradas, en base al repositorio de datos utilizado [4]. En la *Tabla 1*, incluida a continuación, se detallan y clasifican las variables consideradas en el presente trabajo. Para el mismo, las franjas horarias se definen de la siguiente manera: *mañana* comprende de 06:00hs a 11:59hs, *mediodía* de 12:00hs a 15:59hs, *tarde* de 16:00hs a 19:59hs, y *noche* de 20:00hs a 23:59hs, así como también de 00:00hs a 05:59hs.

Cabe aclarar que, los índices de la *Tabla 1*, hacen referencia a los siguientes rangos:

$$1 <= i <= M$$
$$1 <= j <= U$$
$$1 <= x <= S$$

| **Variables Endógenas** |
|---|
| **Resultado** |
| PTO: Porcentaje de tiempo ocioso por zona (PTOU, PTOM, PTOS)<br>PER: Promedio de espera hasta que un pedido es atendido por un repartidor por zona (PERU, PERS, PERM)<br>PPS: Promedio de permanencia en el sistema de pedidos de comida por zona (PPSM. PPSS, PPSU) |
| **Estado** |
| TCM(i), TCS(x), TCU(j): Tiempo Comprometido de cada repartidor por zona. |
| **Variable Exógenas** |
| **Datos** |
| TE_MAÑANA: Tiempo de entrega de la mañana. Unidad: minutos.<br>TE_MEDIODIA: Tiempo de entrega del mediodía. Unidad: minutos.<br>TE_TARDE: Tiempo de entrega de la tarde. Unidad: minutos.<br>TE_NOCHE: Tiempo de entrega de la noche. Unidad: minutos.<br>IP_MAÑANA:Intervalo entre pedidos de la mañana. Unidad: minutos.<br>IP_MEDIODIA: Intervalo entre pedidos del mediodía. Unidad: minutos.<br>IP_TARDE: Intervalo entre pedidos de la tarde. Unidad: minutos.<br>IP_NOCHE: Intervalo entre pedidos de la noche. Unidad: minutos. |
| **Control** |
| M: Cantidad de repartidores en zona metropolitana<br>U: Cantidad de repartidores en zona urbana<br>S: Cantidad de repartidores en zona semi-urbana |

*Tabla 1: Clasificación de variables*

De la misma manera, se define también el evento que ocurre en el sistema informático y que modifica las variables de estado definidas previamente (*Tabla 2*). Este evento afecta directamente la disponibilidad y cantidad de pedidos pendientes de los repartidores, así como también los tiempos de espera de los clientes. Además, se presenta la *Tabla 3*, que detalla los eventos futuros.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Evento | EFNC | EFC | Condición |
|---|---|---|---|
| Ingreso de pedido | Ingreso de pedido | - | - |

*Tabla 2. Tabla de Eventos Independientes*

| TPI | Tiempo de próximo ingreso de pedido |
|---|---|

*Tabla 3. Tabla de Eventos Futuros*

En base a los datos recopilados, se obtienen las cuatro funciones de densidad de probabilidad (fdp) correspondientes a cada una de las franjas horarias mencionadas (*mañana*, *mediodía*, *tarde, noche*). Al desarrollar funciones específicas para cada escenario, se puede realizar un análisis más detallado acerca del comportamiento del sistema y las variaciones que este sufre.
Por un lado, se presentan las funciones que describen los intervalos de tiempo entre los ingresos de pedidos (*Figura 1*).

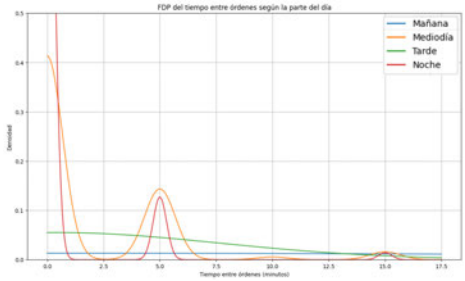



*Figura 1. Funciones de densidad de probabilidad del intervalo entre pedidos de cada franja horaria (IP_MAÑANA, IP_MEDIODÍA, IP_TARDE, IP_NOCHE).*

Por otro lado, se proporcionan las funciones que reflejan el tiempo que un repartidor tarda en entregar los pedidos (*Figura 2*).

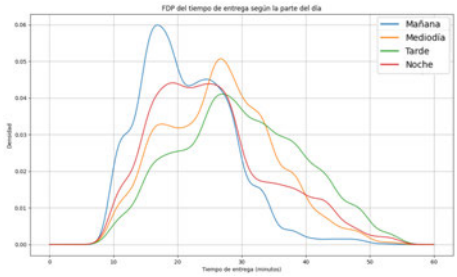



*Figura 2. Función de densidad de probabilidad del tiempo de entrega de cada franja horaria (TE_MAÑANA, TE_MEDIODÍA, TE_TARDE, TE_NOCHE).*

Una vez establecidas las funciones de probabilidad, se implementan en el código, cuya versión completa se encuentra disponible en el repositorio del proyecto [5]. De esta manera, se continúa con la obtención de los distintos casos de estudio.

## 2. Resultados

Para llevar a cabo la simulación, se definen doce escenarios, cada uno enfocado en analizar cómo influye la cantidad de repartidores en las distintas zonas geográficas: metropolitana, urbana y semi-urbana. Considerando que las probabilidades de pedidos varían significativamente según el horario, se identificaron tres escenarios representativos para cada período del día: la *mañana* (*Tabla 4*), el *mediodía* (*Tabla 5*), la *tarde* (*Tabla 6*) y la *noche* (*Tabla 7*).

| | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
|---|---|---|---|
| **M** | 1 | 2 | 2 |
| **S** | 1 | 1 | 1 |
| **U** | 1 | 1 | 2 |

*Tabla 4. Descripción de las variables de control en los escenarios elegidos de la mañana.*

| | Escenario 4 | Escenario 5 | Escenario 6 |
|---|---|---|---|
| **M** | 7 | 8 | 9 |
| **S** | 1 | 1 | 1 |
| **U** | 3 | 3 | 4 |

*Tabla 5. Descripción de las variables de control en los escenarios elegidos del mediodía.*

| | Escenario 7 | Escenario 8 | Escenario 9 |
|---|---|---|---|
| **M** | 4 | 5 | 6 |
| **S** | 1 | 1 | 1 |
| **U** | 2 | 2 | 3 |

*Tabla 6. Descripción de las variables de control en los escenarios elegidos de la tarde.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | Escenario 10 | Escenario 11 | Escenario 12 |
|---|---|---|---|
| **M** | 18 | 19 | 20 |
| **S** | 1 | 1 | 1 |
| **U** | 7 | 7 | 8 |

*Tabla 7. Descripción de las variables de control en los escenarios elegidos de la noche.*

Para el análisis de los escenarios, se da prioridad a aquellos que reducen el tiempo de espera de los clientes y, de manera simultánea, disminuyen el porcentaje de tiempo ocioso de los repartidores. Las tablas que presentan los resultados para cada parte del día (*Tablas 8, 9, 10 y 11*), se detallan a continuación, acompañadas de gráficos comparativos (Figura 3, 4, 5 y 6).

| | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 1 |
|---|---|---|---|
| **PTOM (%)** | 66.97 | 77.93 | 34.86 |
| **PTOS (%)** | 99.63 | 99.66 | 99.67 |
| **PTOU (%)** | 79.91 | 90.16 | 80.28 |
| **PPSM (min)** | 21.76 | 21.01 | 35.72 |
| **PPSS (min)** | 21.74 | 20.94 | 20.94 |
| **PPSU (min)** | 23.07 | 21.09 | 22.99 |
| **PERM (min)** | 0.84 | 0.07 | 14.82 |
| **PERS (min)** | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| **PERU (min)** | 2.13 | 0.08 | 2.13 |

*Tabla 8. Tabla de resultados de la simulación en la franja de la mañana.*

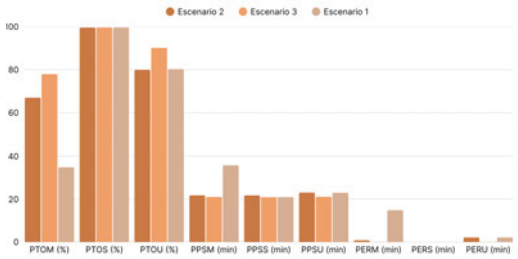



*Figura 3. Gráfico de resultados de la simulación en la franja de la mañana.*

| | Escenario 5 | Escenario 6 | Escenario 4 |
|---|---|---|---|
| **PTOM (%)** | 18.33 | 27.38 | 6.69 |
| **PTOS (%)** | 96.45 | 96.32 | 96.62 |
| **PTOU (%)** | 35.13 | 51.54 | 35.25 |
| **PPSM (min)** | 33.09 | 28.55 | 58.65 |
| **PPSS (min)** | 26.00 | 26.11 | 26.03 |
| **PPSU (min)** | 32.73 | 27.14 | 32.48 |
| **PERM (min)** | 7.48 | 2.98 | 33.08 |
| **PERS (min)** | 0.28 | 0.52 | 0.45 |
| **PERU (min)** | 7.20 | 1.56 | 6.93 |

*Tabla 9. Tabla de resultados de la simulación en la franja del mediodía.*

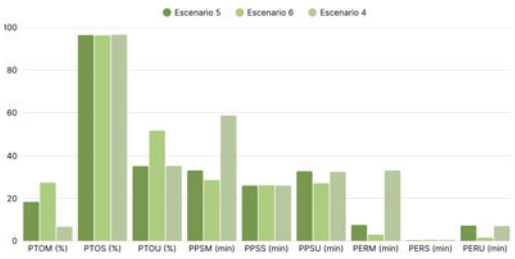



*Figura 4. Gráfico de resultados de la simulación en la franja del mediodía.*

| | Escenario 8 | Escenario 9 | Escenario 7 |
|---|---|---|---|
| **PTOM (%)** | 29.52 | 41.24 | 12.21 |
| **PTOS (%)** | 98.12 | 98.17 | 98.13 |
| **PTOU (%)** | 48.11 | 65.30 | 47.55 |
| **PPSM (min)** | 30.56 | 28.57 | 44.87 |
| **PPSS (min)** | 27.93 | 28.19 | 27.87 |
| **PPSU (min)** | 32.98 | 28.53 | 33.23 |
| **PERM (min)** | 2.66 | 0.71 | 17.01 |
| **PERS (min)** | 0.21 | 0.24 | 0.22 |
| **PERU (min)** | 5.20 | 0.67 | 5.31 |

*Tabla 10. Tabla de resultados de la simulación en la franja de la tarde.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



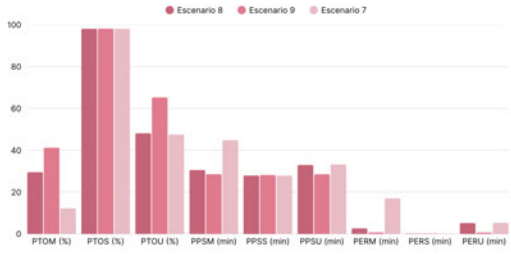



*Figura 5. Gráfico de resultados de la simulación en la franja de la tarde.*

| | Escenario 11 | Escenario 12 | Escenario 10 |
|---|---|---|---|
| **PTOM (%)** | 10.29 | 14.68 | 5.37 |
| **PTOS (%)** | 91.31 | 91.03 | 91.19 |
| **PTOU (%)** | 27.88 | 36.84 | 27.78 |
| **PPSM (min)** | 46.48 | 37.43 | 72.14 |
| **PPSS (min)** | 27.72 | 28.07 | 27.89 |
| **PPSU (min)** | 32.78 | 29.22 | 33.06 |
| **PERM (min)** | 20.17 | 11.12 | 45.83 |
| **PERS (min)** | 1.61 | 1.70 | 1.47 |
| **PERU (min)** | 6.46 | 2.95 | 6.77 |

*Tabla 11. Tabla de resultados de la simulación en la franja de la noche.*

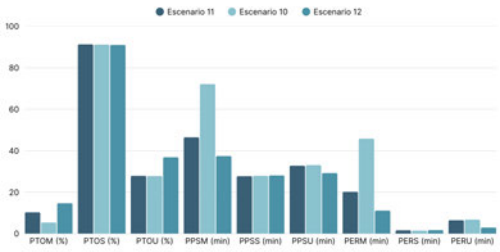



*Figura 6. Gráfico de resultados de la simulación en la franja de la noche.*

Los resultados obtenidos permiten definir una visión completa de los posibles escenarios estudiados.

## 3. Discusión

A partir de los resultados obtenidos, se identifican discrepancias y similitudes relevantes en comparación con el trabajo anterior. En primer lugar, la selección de la metodología actual se considera más precisa, ya que refleja con mayor fidelidad la experiencia de uso en plataformas de delivery. Este enfoque permite que los clientes, al emitir un pedido, conozcan el horario aproximado de entrega y puedan visualizar el recorrido del repartidor mientras completa sus tareas pendientes.

Por otro lado, el análisis basado en franjas horarias (*mañana*, *mediodía*, *tarde* y *noche*) resulta más adecuado que el enfoque anterior, que segmentan según días de la semana y fines de semana. Este cambio permite identificar diferencias más pronunciadas en la frecuencia de emisión de pedidos y en los tiempos de entrega, lo que justifica la necesidad de realizar este nuevo análisis para mejorar la eficiencia del sistema. Para ello, se llevaron a cabo cuatro simulaciones, dos más que en la investigación previa.

Entre las similitudes detectadas, se confirma la tendencia de mayor volumen de pedidos en la zona metropolitana en comparación con las demás áreas geográficas, lo que genera una mayor demanda de repartidores en esa región. En contraste, la zona semi-urbana presenta una cantidad de pedidos significativamente menor, lo que implica una estabilidad en la cantidad de repartidores requeridos, independientemente del escenario analizado.

En cuanto a la determinación de la cantidad óptima de repartidores por zona y franja horaria, se prioriza reducir el tiempo de espera de los clientes como principal objetivo, seguido de minimizar el porcentaje de tiempo ocioso de los repartidores. Este enfoque está alineado con la misión de la empresa, "Mejor comida para más personas" [6], que busca maximizar la satisfacción del cliente al entregar pedidos de manera rápida y eficiente.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Finalmente, se observa que la franja horaria nocturna requiere la mayor cantidad de repartidores debido a la alta frecuencia de pedidos, seguida por el *mediodía*, que presenta una tendencia similar pero de menor magnitud. Esto coincide con los hábitos de consumo de los clientes, quienes suelen realizar pedidos para la cena o el almuerzo. En contraste, la franja de la *mañana* demanda la menor cantidad de repartidores, un comportamiento comparable con los días hábiles (lunes a jueves) en el análisis previo.

## 4. Conclusiones y Trabajos Futuros

En el presente trabajo, se realiza una simulación diseñada para replicar las condiciones de un sistema de delivery, con el objetivo de optimizar la cantidad de repartidores por zona y maximizar la capacidad de entrega diaria. Tras analizar los distintos escenarios, se observa que cada área geográfica y franja horaria requieren diferentes cantidades de repartidores para mejorar el servicio proporcionado por la organización.

La zona metropolitana posee la mayor demanda de pedidos, lo que implica una necesidad considerablemente mayor de repartidores en comparación con las demás áreas. Por otro lado, la zona semi-urbana muestra un número reducido de pedidos, lo que genera un alto porcentaje de tiempo ocioso para los repartidores. Esta situación señala la necesidad de desarrollar estrategias de marketing para aumentar la adopción de la plataforma en esta área, sin considerar su eliminación debido a la misión de la empresa, que busca cubrir la mayor cantidad posible de clientes y áreas.

La simulación revela que, durante la *mañana*, los mejores resultados se obtienen con 2 repartidores en la zona metropolitana, 1 en la semi-urbana y 1 en la urbana. Al *mediodía*, la demanda incrementa y se requiere un aumento de repartidores: 8 en la zona metropolitana, 1 en la semi-urbana y 3 en la urbana. Por la *tarde*, la demanda en la zona metropolitana sigue siendo alta, con 5 repartidores, mientras que en las otras áreas se mantienen 1 y 2, respectivamente. Durante la *noche*, la mayor demanda de pedidos requiere un fuerte aumento de repartidores: 19 en la zona metropolitana, 1 en la semi-urbana y 7 en la urbana. Estos resultados subrayan la importancia de ajustar la cantidad de repartidores según la franja horaria para optimizar el servicio y controlar los costos operativos, con especial atención al pico de demanda nocturna. En la zona semi-urbana, el número de repartidores se mantiene constante a lo largo de los escenarios.

Como futuras líneas de trabajo, se planea analizar el modelo teniendo en cuenta tanto las franjas horarias como las condiciones climáticas, para comprender cómo estos factores influyen en la demanda de repartidores según cada zona geográfica.

**Referencias**

[1] Zomato, 2025. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/422NlC7). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[2] Orozco-Crespo, E., Sablón-Cossio, N., Hermoso, D., & Rodríguez-Sánchez, Y., “Optimización de recursos mediante la simulación de eventos discretos”, Revista Tecnología en Marcha, 2019, vol.32(2), pp. 146-164. Disponible en: (https://bit.ly/4lS3aCY). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[3] Bibliografía de la cátedra de Simulación UTN-FRBA.

[4] Badole, S., “Zomato Delivery Operations Analytics Dataset”, 2024. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/4mLaguj). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[5] García Linfozzi, M. S., Gobbi, M. N. & Lamas, C. M., “Simulación de Sistema de Delivery”. [En línea]. Disponible en: (http://bit.ly/3VraGtw). [Accedido: 28- agosto- 2025].

[6] Pereira, D., “Modelo de negocio de Zomato”, The Business Model Analyst, septiembre 2023. Disponible en: (https://bit.ly/3OLQLCr). [Accedido: 28- agosto- 2025].

**Datos de Contacto**

*García Linfozzi, María Sol. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. mgarcialinfozzi@frba.utn.edu.ar.*

*Gobbi, Micaela Nicole. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. mgobbi@frba.utn.edu.ar.*

*Lamas, Chabela María. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. clamas@frba.utn.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Modelo de Recolección y Clasificación de Residuos de la Fiesta Nacional de la Pachamama con Beneficios para la Comunidad y Medio Ambiente

**Armas, Mauro Nahuel**
**Ochoa, Alejandro Iván**
**Palacios Illanes, Lourdes María del Valle**
**Sleiman, Julieta**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

## I. ABSTRACT

*Este trabajo de investigación, desarrollado en el marco de la materia "Investigación Operativa" del cuarto nivel de Ingeniería en Sistemas de Información, propone desarrollar un modelo de programación lineal multiobjetivo por metas, ordenadas por prioridad, con el fin de mejorar la gestión integral de residuos durante la Fiesta Nacional de la Pachamama en Amaicha del Valle, fortaleciendo la imagen del evento e incentivando la participación de los asistentes mediante un sistema de recompensas basado en cupones de descuento en tiendas de artesanías locales. El modelo considera variables relacionadas con la cantidad de residuos recolectados, la ubicación de puntos de intercambio, la frecuencia de transporte hacia el centro de acopio y la entrega de cupones de incentivo. A partir de estas decisiones, se busca reducir la acumulación de basura en espacios públicos, disminuir el impacto ambienta del festival y generar beneficios sociales y económicos para la comunidad.*

## II. PALABRAS CLAVE

1. Fiesta Nacional de la Pachamama: Evento cultural que tiene lugar en Amaicha del Valle. En este contexto se desarrolla la problemática relacionada con la gestión de residuos. [6]
2. Punto Verde: Espacio designado para la correcta disposición de residuos reciclables durante el evento en Amaicha. [7].
3. Programación lineal: Método matemático utilizado para optimizar recursos limitados mediante la formulación de modelos que buscan maximizar o minimizar una función objetivo sujeta a un conjunto de restricciones lineales. En este trabajo se aplica para modelar la gestión de residuos durante la Fiesta Nacional de la Pachamama.
4. Programación mixta: Extensión de la programación lineal que permite incluir variables tanto continuas como enteras o binarias. Se utiliza en el modelo desarrollado para representar decisiones como la ubicación de puntos de intercambio o la cantidad de viajes de recolección.
5. Programación multiobjetivo o por metas: Técnica de optimización que permite alcanzar múltiples objetivos simultáneamente, estableciendo prioridades o metas para cada uno. En el modelo propuesto se emplea este enfoque para equilibrar factores ambientales, logísticos y económicos en la gestión de residuos del evento.
6. Gestión de residuos: Conjunto de acciones orientadas a la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos generados durante el evento. Su objetivo principal es minimizar el impacto ambiental y mejorar la limpieza del predio y los espacios públicos.
7. Optimización de recolección de basura: Proceso de mejora en la planificación y operación de los sistemas de recolección de residuos, buscando maximizar la eficiencia del transporte y minimizar costos o tiempos de recorrido. Es uno de los objetivos principales del modelo propuesto.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



8. Reciclaje y sustentabilidad: Práctica orientada a la recuperación y reutilización de materiales reciclables con el fin de reducir el volumen de desechos enviados a vertederos. En este trabajo se promueve un enfoque sustentable que combina beneficios ambientales, sociales y económicos para la comunidad

## III. INTRODUCCIÓN

La Fiesta Nacional de la Pachamama constituye uno de los principales motores económicos, culturales y turísticos de la comuna. Este evento, que se desarrolla anualmente entre finales de febrero y principios de marzo, convoca en promedio a 30.000 personas por día, con una duración total de seis días.

En los últimos años, se ha observado una tendencia creciente en la concurrencia al festival, lo que ha generado un incremento significativo en la generación de residuos. Actualmente, la comuna no cuenta con un sistema de gestión de residuos adecuado para afrontar la demanda que genera un evento de tal magnitud. Como consecuencia, se produce la acumulación de grandes cantidades de basura en los principales espacios públicos, especialmente en la Plaza San Martín y en el predio donde se desarrolla el evento.

La recolección de residuos se realiza en dos momentos del día. El primero es a las 7:00 PM, una vez que finaliza la primera jornada y la segunda recolección se lleva a cabo a las 5:00 AM, al terminar la jornada nocturna. Esta frecuencia resulta insuficiente, dado que durante el transcurso del día se acumulan importantes volúmenes de basura, lo que genera un impacto negativo en la imagen del evento y de la comuna. Esta situación no solo afecta la experiencia de los asistentes, sino que también significa una molestia para la población local.

Adicionalmente, los residuos recolectados son trasladados a un vertedero ubicado a 2 km de la rotonda, práctica que no solo contribuye a la contaminación ambiental, sino que también refuerza una percepción negativa sobre la gestión ambiental de la comuna. Ante este escenario, se vuelve indispensable planificar e implementar estrategias de gestión integral de residuos, que permitan reducir el impacto ambiental del evento y mejorar la experiencia tanto de residentes como de visitantes.

## IV. DESARROLLO

Pronóstico de generación de residuos durante los días de la fiesta

$$Residuos_{totales} = \sum Residuos_{Dia\ i}, i \in [1,6]$$

$$Residuos_{Dia\ i} = Demanda_{dia\ i} * generación\ promedio\ por\ persona \quad [1]$$

Además, los residuos se componen de la siguiente forma:

$$Residuos_{Dia\ i} = Residuos_{aluminio} + Residuos_{plastico} + Residuos_{tetra\ brick} \quad [2]$$

Modelo de programación lineal

Para construir el modelo, necesitamos definir las variables que representarán las decisiones que se deben tomar. Considerando el alcance del proyecto, las **variables de decisión para cada día i con i ∈ [1,6] serán:**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$A_i$: Kilogramos de aluminio entregados por los asistentes y recolectados el día i.

$P_i$: Kilogramos de plástico entregados por los asistentes y recolectados el día i.

$T_i$: Kilogramos de Tetra Brik entregados por los asistentes y recolectados el día i.

$C_i$: Número de cupones entregados el día i

$C^+$: Desviación de sobrantes de cupones totales respecto a la meta.

$C^-$: Desviación de faltantes de cupones totales respecto a la meta.

$V_i$: Número de viajes realizados desde el Punto Verde al PEC el día i.

$V^+$: Desviación de faltantes de viajes totales respecto a la meta.

$V^-$: Desviación de faltantes de viajes totales respecto a la meta.

$X_{ij}$: Variable binaria que indica si un Punto de Intercambio estará ubicado en la esquina ij, con i ∈ [1,4] y j ∈ [1,2]

$X_P$: Variable binaria que indica la existencia de un Punto de Intercambio dentro del predio del evento.

$X^+$: Desviación de sobrantes de puntos de intercambio totales respecto a la meta.

$X^-$: Desviación de faltantes de puntos de intercambio totales respecto a la meta.

$U^+$: Desviación de sobrante de utilidad total respecto a la meta.

$U^-$: Desviación de faltante de utilidad total respecto a la meta.

**Restricciones:**

*Máximo de Aluminio entregado por dia*:

$$Ai\ (Kg) \leq 8400\ Kg, i \in [1,6] \quad [3]$$

*Máximo de Tetrabrick entregado por dia*:

$$Ti\ (Kg) \leq 8400\ Kg, i \in [1,6] \quad [4]$$

*Máximo de Plástico entregado por dia*:

$$Pi\ (Kg) \leq 7200\ Kg, i \in [1,6] \quad [5]$$

*Mínimo de Aluminio entregado por dia*:

$$Ai\ (Kg) \geq 100\ Kg, i \in [1,6] \quad [6]$$

*Mínimo de Tetrabrick entregado por dia*:

$$Ti\ (Kg) \geq 450\ Kg, i \in [1,6] \quad [7]$$

*Mínimo de Plástico entregado por día*:

$$Pi\ (Kg) \geq 400\ Kg, i \in [1,6] \quad [8]$$

*Cantidad de Viajes por día*:

$$1\frac{viaje}{viaje} Vi\ (viaje) \leq 6\ viajes, i \in [1,6] \quad [9]$$

*Viajes totales*:

$$1\frac{viaje}{viaje} Vi\ (viaje) \leq 36\ viajes \quad [10]$$

*Capacidad de transporte de residuos por viaje*:

$$0.02\frac{m3}{kg} Ai\ (Kg) + 0.05\frac{m3}{kg} Pi\ (Kg) + 0.06\frac{m3}{kg} Ti\ (Kg) - 25\ m^3 * Vi\ \leq 0\ m^3, \quad i \in [1,6] \quad [11]$$

*Puntos de Intercambios manzana* 1:

$$X_{11} + X_{12} + X_{21} + X_{22} \geq 1$$

*Puntos de Intercambios manzana* 2:

$$X_{21} + X_{22} + X_{31} + X_{32} \geq 1$$

*Puntos de Intercambios manzana* 3:

$$X_{31} + X_{32} + X_{41} + X_{42} \geq 1$$

*Puntos de Intercambios predio*:

$$X_P \geq 1$$

*Capacidad aluminio punto Intercambio*:

$$0.02\frac{m3}{kg} Ai(Kg)\ - \sum \left(0.1 \left(\frac{m3}{h}\right) * 24(h)\right) X \leq 0, \quad i \in [1,6] \quad [12]$$

*Capacidad tetra punto Intercambio*:

$$0.06\frac{m3}{kg} Ti(Kg) - \sum \left(0.24 \left(\frac{m3}{h}\right) * 24(h)\right) X \leq 0, \quad i \in [1,6] \quad [13]$$

*Capacidad plastico punto Intercambio*:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$$0.05\,\frac{m3}{kg}\,Pi(Kg) - \sum\left(0.24\left(\frac{m3}{h}\right) * 24(h)\right) X \leq 0, i \in [1,6] \quad [14]$$

$$Personal: \frac{personas}{viaje} V_i(viaje) + 2\,\frac{personas}{punto\ Intercambio} * \sum X\,(punto\ Intercambio) \leq 40\ personas,\ \ i \in [1,6] \quad [15]$$

$$Cupones\ entregados: \frac{cupones}{kg} Ai\,(Kg) + \frac{cupones}{kg} Pi\,(Kg) + \frac{cupones}{kg} Ti\,(Kg) - C_i(cupones) \leq 0\ cupones,\ \ i \in [1,6] \quad [16]$$

$$Cupones\ Maximos: \frac{Cupones}{Cupones}\ C_i(cupones) \leq 1700\ cupones, i \in [1,6] \quad [17]$$

Metas

$$Meta\ de\ obtener\ una\ Utilidad\ de\ diez\ millones\ de\ pesos: \sum\left(1225\ \frac{\$}{kg} * Ai(Kg) + 305\ \frac{\$}{kg} * Pi(Kg) + 60\ \frac{\$}{kg} * Ti(Kg)\right) - \frac{300Km * \frac{1221\$}{l}}{\frac{5Km}{l}} * \sum Vi - U^+ + U^- = 10000000\ \$$$

$$Meta\ de\ realizar\ 24\ Viajes\ en\ total: \sum Vi\,(viajes) - V^+(viajes) + V^-(viajes) = 24\ Viajes$$

$$Meta\ de\ establecer\ 6\ puntos\ de\ intercambio: \sum X(ptoInt) - X^+(ptoInt) + X^-(ptoInt) = 6\ Puntos$$

$$Meta\ de\ entregar\ Cupones\ diez\ mil\ cupones: \sum C_i(cupones) - C^+(cupones) + C^-(cupones) = 10000\ cupones$$

Función Objetivo

$$Zmin = U^+ + U^- + V^+ + V^- + X^+ + X^- + C^+ + C^-$$

$$Valor\ del\ cupón: \frac{Utilidad + Ahorro\ Inicial\ en\ Combustible}{Número\ de\ cupones}$$

Modelo de inventario de revisión continua para determinar el nivel de stock de seguridad de cada contenedor en los puntos de intercambio

Recolección de residuos por hora durante el festival (24 hs):

- Recolección de Aluminio durante el festival

$$\frac{840\ kg}{24\ horas} = 35\ \frac{kg}{h} * 0.02\ \frac{m^3}{kg} = 0.7\ \frac{m^3}{h}$$

- Recolección de Tetra Brik durante el festival

$$\frac{450\ kg}{24\ horas} = 19\ \frac{kg}{h} * 0.06\ \frac{m^3}{kg} = 1.15\ \frac{m^3}{h}$$

- Recolección de Plástico durante el festival

$$\frac{400\ kg}{24\ horas} = 16.7\,\frac{kg}{h} * 0.05\ \frac{m^3}{kg} = 0.83\ \frac{m^3}{h}$$

Lead-Time (Tiempo en que un recolector demora en ir a recolectar los residuos) LT: 25 min = 0.41 h

- Variabilidad estimada:

$$\sigma_{LT} = 10\%\ generación\ de\ residuos\ durante\ LT$$

- Nivel de Servicio: 95% (Z = 1.645)
- Cantidad de Puntos de intercambio: 7
- Capacidad de Contenedores:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Contenedores para residuos de aluminio: $0.1\text{m}^3$
Contenedores para residuos de TetraBrik: $0.24\text{m}^3$
Contenedores para residuos de Plástico: $0.24\text{m}^3$

$$Punto\ Reorden(R) = Capacidad\ del\ contenedor - (Stock\ de\ Seguridad\ (SS) + Demanda\ durante\ Lead\ Time\ (D_{LT}))$$

$$Demanda\ durante\ Lead - Time\ (D_{LT}) = \left(\frac{Generación\ Total\ de\ Material}{Cantidad\ Puntos\ de\ Intercambio}\right) * LT$$

$$Stock\ de\ Seguridad\ (SS) = Z * \sigma_{LT}$$

$$\sigma_{LT} = 0.1 * D_{LT}$$

Punto de Reorden para Aluminio

$$Demanda\ durante\ Lead - Time\ (D_{LT}) = \left(\frac{0.7\ \frac{m^3}{h}}{7\ ptoInt}\right) * 0.41\ h = 0.041\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$\sigma_{LT} = 0.1 * 0.041\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.0041\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$Stock\ de\ Seguridad\ (SS) = 1.645 * 0.0041\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.0067\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$Punto\ de\ Reorden\ (R) = 0.1\frac{m^3}{ptoInt} - 0.0067\ \frac{m^3}{ptoInt} - 0.041\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.05\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$Punto\ de\ Reorden\ respecto\ contenedor\ de\ 100L = 50\ \% = 50\ L$$

Punto de Reorden para TetraBrik

$$Demanda\ durante\ Lead - Time\ (D_{LT}) = \left(\frac{1.15\ \frac{m^3}{h}}{7\ ptoInt}\right) * 0.41\ h = 0.040\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$\sigma_{LT} = 0.1 * 0.040\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.0040\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$Stock\ de\ Seguridad\ (SS) = 1.645 * 0.0040\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.0065\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$Punto\ de\ Reorden\ (R) = 0.24\ \frac{m^3}{ptoInt} - 0.0065\ \frac{m^3}{ptoInt} - 0.04\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.19\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$Punto\ de\ Reorden\ respecto\ al\ contenedor\ de\ 240\ L = 190\ L\ =\ 79\ \%$

Punto de Reorden para Plástico

$$Demanda\ durante\ Lead-Time\ (D_{LT}) = (\frac{0.83\ \frac{m^3}{h}}{7\ ptoInt})\ *\ 0.41\ h = 0.048\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$\sigma_{LT}\ =\ 0.1\ *\ 0.048\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.0048\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$Stock\ de\ Seguridad\ (SS) = 1.645\ *\ 0.0048\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.0079\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$$Punto\ de\ Reorden\ (R) = 0.24\ \frac{m^3}{ptoInt} - 0.0079\ \frac{m^3}{ptoInt} - 0.048\ \frac{m^3}{ptoInt} = 0.184\ \frac{m^3}{ptoInt}$$

$Punto\ de\ Reorden\ para\ un\ contenedor\ respecto\ al\ contenedor\ de\ 240L(R) = 184L = 76\%$

## V. CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

El modelo implementado para la gestión de residuos en la Fiesta Nacional de la Pachamama fue exitoso, no solo por optimizar la recolección y clasificación de residuos reciclables, sino también por su enfoque integral que combina el cuidado ambiental con beneficios sociales y comunitarios. La entrega de cupones de descuento no es solo un incentivo económico, sino un símbolo de reconocimiento que fomenta la participación ciudadana y fortalece lazos con los comercios de artesanías locales, impulsando la visibilidad de la producción regional y el sentido de pertenencia.

Más allá de los beneficios materiales, la verdadera finalidad de incorporar este modelo a la Fiesta Nacional de la Pachamama no radica en obtener una ganancia económica directa, sino en proyectar una imagen positiva del evento y contribuir activamente al cuidado del medioambiente. Aunque se utilicen incentivos económicos para fomentar la participación, también podrían explorarse otros destinos para los fondos recaudados, como iniciativas educativas, ambientales o sociales que refuercen el impacto positivo del programa.

En esencia, el modelo demuestra que las soluciones sostenibles pueden integrar el cuidado ambiental con la economía social y la participación ciudadana, transformando la gestión de residuos en una oportunidad para la educación, inclusión y fortalecimiento de la comunidad anfitriona.

Nota: No fue posible incluir directamente la meta de maximizar el valor de los cupones debido a la imposibilidad de linealizar esta variable. En su lugar, se buscó maximizar la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



utilidad general generada por la venta de los residuos recolectados, lo que a su vez financia el sistema de cupones.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a nuestros profesores: Rojas Cristina, Gramajo Guadalupe y Fraga Álvaro, cuyo acompañamiento y guía fueron fundamentales para la realización de este trabajo. A la UTN-FRT, por brindarnos el espacio académico para desarrollar la investigación. De manera especial, agradecemos la oportunidad del viaje de estudio a Amaicha del Valle, donde, gracias a la gestión de nuestros docentes, pudimos dialogar con el Cacique y con representantes de la Comuna, obteniendo valiosa información que enriqueció nuestro trabajo.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Gerente del Punto Ecológico Concepción, *Entrevista personal*, Amaicha del Valle, 2024.
- [2] M. Valencia Cárdenas, S. Ramírez Agudelo, J. F. Tabares y C. A. Velásquez Galvis, *Métodos de pronósticos: Clásicos y bayesianos con aplicaciones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [3] S. Anderson y C. Williamns, *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: Cengage Learning, 2011.
- [4] W. L. Winston, *Investigación de operaciones: Aplicaciones y algoritmos*, 4ª ed. México: Thomson, 2004.
- [5] H. A. Taha, *Investigación de Operaciones*, 9ª ed. México: Pearson Education, 2012.
- [6] Comuna de Amaicha del Valle, *Información institucional sobre gestión ambiental*, 2024.
- [7] Casilla de Información Turística de Amaicha del Valle, *Datos sobre la Fiesta Nacional de la Pachamama*, 2024.
- [8] OrizonBio, "¿Qué son los plásticos no biodegradables?", disponible en: https://orizonbio.com/es/what-are-non-biodegradable-plastics/, acceso: oct. 2025.
- [9] Wikipedia, "Tetra Brik", disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Tetra_Brik, acceso: oct. 2025.
- [10] Wikipedia, "Aluminio – Reciclaje", disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Aluminio#Reciclaje, acceso: oct. 2025.
- [11] Wikipedia (en inglés), "Aluminium recycling", disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_recycling, acceso: oct. 2025.
- [12] Surtidores.com.ar, "Precios de combustibles en estaciones de servicio YPF C.A.B.A.", disponible en: https://surtidores.com.ar/, acceso: oct. 2025.
- [13] Helési, "Vehículos de recogida de residuos", disponible en: https://es.helesi.com/product.aspx?Id=52, acceso: oct. 2025.
- [14] Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), *Estudios de valorización de residuos secos*, Buenos Aires, Argentina, 2024.
- [15] Manuales Municipales de GIRSU, *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*, Argentina, 2024.

## VIII. ANEXO

Modelo de programación Lineal desarrollado en Excel: https://frtutneduar-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/alejandro_ochoa_alu_frt_utn_edu_ar/EX9smloZ2RtFlUs_zv0DgnYBsq4R2HRNdl_-OCX-jx3r4Q?e=ShPXKg

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Interoperabilidad en Sistemas de Salud mediante la normalización HL7 y la Inteligencia Artificia

**Pablo Sebastian Serfaty**
***Universidad de la Cuenca del Plata***

**Resumen**

***Fragmentación y el Desafío Semántico.*** *La gestión de historias clínicas en los sistemas de salud modernos se enfrenta a desafíos significativos debido a la fragmentación de los datos en "silos", lo que impide la interoperabilidad y pone en riesgo la seguridad del paciente.* ***Esta ineficiencia se ejemplifica en la persistencia de sistemas heredados que almacenan datos en formatos propietarios no estandarizados, y en el gran volumen de notas de texto libre (datos no estructurados) que requieren esfuerzo manual para su interpretación, lo que incrementa el riesgo de errores médicos.*** *Ante esta problemática, se propone una herramienta de software diseñada para conectar y transformar datos de cualquier base de datos de historias clínicas al estándar HL7 [5], [15], un protocolo que permite el intercambio de información de salud de manera electrónica, con el fin de garantizar la interoperabilidad [21]. La herramienta, que utiliza modelos de Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) de plataformas como Hugging Face, es capaz de procesar datos no estructurados, como notas de texto libre, para extraer, normalizar y mapear información a terminologías médicas estandarizadas. Específicamente, el sistema emplea modelos como BioMed_NER [18] para el reconocimiento de entidades, BioLORD [32] para el mapeo de ontologías y DistilBart-Med-Summary [2] para la generación de resúmenes de texto. El análisis del estado del arte en interoperabilidad y modelos de IA confirma la viabilidad de la solución, y la revisión de casos de éxito [4], [29], [35] demuestra los beneficios tangibles de la estandarización de datos, como la reducción de errores médicos y la mejora de la coordinación asistencial. La innovación de esta propuesta radica en su arquitectura unificada basada en microservicios, que automatiza el flujo de trabajo completo, desde la ingesta de datos de sistemas heredados hasta la exposición de información normalizada, facilitando la transición hacia un ecosistema de salud más seguro y eficiente.*

**Palabras Clave**
HL7, FHIR, Historias Clínicas Electrónicas, Inteligencia Artificial.

## Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente de historias clínicas y la interoperabilidad de los datos constituyen uno de los principales desafíos en el sector de la salud. La creciente fragmentación de la información en **"silos de datos"** dentro de las instituciones sanitarias, sumada a la diversidad de sistemas y proveedores, ha generado un escenario donde el intercambio y la unificación de los registros de pacientes se convierten en procesos críticos que impactan directamente en la seguridad y la continuidad de la atención médica. Este problema ha sido ampliamente reconocido por organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) [29] y la Healthcare Information and Management Systems Society (HIMSS) [23], quienes destacan que la falta de interoperabilidad es una barrera clave para la atención integrada.

El presente trabajo se desarrolla en el marco de un Trabajo Final de Grado con el objetivo de abordar estos desafíos. Este estudio se orienta al desarrollo de una herramienta de software capaz de conectarse a cualquier base de datos de historias clínicas y transformarlas al estándar **HL7**, con el fin de garantizar una interoperabilidad robusta [5], [15]. El enfoque integra además la aplicación de modelos de **Inteligencia Artificial (IA)** y **Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)** disponibles en plataformas como **Hugging Face**, para interpretar datos no estructurados —como las notas médicas de texto libre— [31] y normalizar la información a un formato estandarizado y computable.

La contribución fundamental de esta propuesta radica en el cierre de la brecha existente entre los sistemas de información heredados, o sea, los que ya estaban

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



implementados, y los estándares modernos de interoperabilidad como HL7 y **FHIR**, creando un flujo de trabajo continuo desde la ingesta hasta la exposición de datos normalizados. A diferencia de las soluciones existentes que a menudo requieren procesos manuales de mapeo de datos [1], una limitación señalada por estudios de la **Academia Nacional de Medicina de los Estados Unidos** [4] y diversas publicaciones en el **Journal of Medical Internet Research** [10], la herramienta aspira a automatizar el flujo de trabajo completo. Así, se posiciona como un puente tecnológico que no solo mejora la eficiencia, sino que también transforma la gestión del conocimiento clínico.

El problema que se busca resolver está asociado a la **ineficiencia en la gestión de datos**, donde la falta de un repositorio unificado y la dispersión de la información técnica impiden una visión integral del paciente. La herramienta busca disminuir de manera significativa los errores médicos [27], mejorar la productividad del personal clínico y administrativo, y evitar la duplicidad de esfuerzos, facilitando la investigación y la toma de decisiones clínicas.

La utilidad esperada de la solución radica en la creación de un ecosistema de datos de salud interconectado y proactivo, que no solo reduce el tiempo y los errores en el intercambio de información, sino que también fortalece la gestión del conocimiento empresarial. Sus aplicaciones prácticas abarcan desde la mejora de la coordinación asistencial, hasta la facilitación de estudios epidemiológicos a gran escala, contribuyendo así a la creación de un sistema de salud más seguro, eficiente y equitativo.

La interoperabilidad en salud se define como la capacidad de diferentes sistemas, dispositivos y aplicaciones para acceder, integrar y utilizar de manera segura los datos electrónicos de salud [21], [23]. Según **HIMSS** (Healthcare Information and Management Systems Society) [23] y otros organismos internacionales, se reconocen varios niveles de interoperabilidad: desde el nivel fundamental (transporte seguro de datos sin interpretación) hasta el semántico (intercambio de datos con diferentes estructuras que pueden ser interpretadas y entendidas por el sistema receptor) y el organizativo (intercambio fluido entre múltiples entidades con distintas regulaciones). Los estándares de datos son la clave para alcanzar estos niveles [16].

En este contexto, **HL7** es un estándar de facto para el intercambio de información clínica [5], [15]. **HL7v2** es un estándar más antiguo, pero ampliamente adoptado, propuesto y desarrollado por la organización **Health Level Seven International** [5], [15]. Por otro lado, **FHIR** (Fast Healthcare Interoperability Resources) representa la nueva generación [22]. FHIR utiliza tecnologías web modernas como las **API RESTful** y formatos de datos como **JSON** y **XML** [16], [8].

Este enfoque, basado en recursos discretos y computables (como pacientes, medicamentos y diagnósticos), permite una **"interoperabilidad más espontánea"** y ágil, a diferencia de los enfoques más rígidos del pasado. Además, FHIR ha sido diseñado para ser compatible con los estándares heredados, lo que permite a las organizaciones realizar una transición gradual y proteger sus inversiones en infraestructura existente [4], [22].

La implementación de estándares de interoperabilidad genera una serie de beneficios documentados en la literatura [4], [9], [29], [35], que impactan directamente en la calidad y eficiencia de la atención médica, tales como:

- **Mejora la seguridad del paciente.** La estandarización de datos reduce significativamente los errores médicos, que a menudo son causados por la falta de comunicación o la mala interpretación de los registros. Al eliminar la necesidad de la entrada

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



manual de datos, también se minimizan los errores de transcripción [27].

- **Coordinación asistencial y resultados mejorados.** El acceso a un historial completo del paciente, consolidado a partir de múltiples fuentes, proporciona una **"visión integral"** que permite diagnósticos más precisos y planes de tratamiento mejor coordinados. Esto contribuye a una mejor gestión de enfermedades crónicas y reduce los reingresos hospitalarios evitables.

- **Eficiencia operativa y reducción de costos.** La interoperabilidad automatiza procesos administrativos que antes requerían una gran cantidad de tiempo y esfuerzo manual. La automatización de tareas como la verificación de seguros y la tramitación de reclamaciones se traduce en una reducción de los costos de administración [27].

- **Fomento de la innovación.** Al usar estándares abiertos y API, FHIR permite a los desarrolladores crear aplicaciones innovadoras, como apps móviles y herramientas de análisis basadas en la nube. Estas nuevas soluciones pueden mejorar el compromiso del paciente y optimizar los flujos de trabajo clínicos.

**Casos de implementación y estudios de Éxito**

Numerosas organizaciones sanitarias han demostrado el valor de la interoperabilidad en la práctica.Además de los beneficios generales mencionados, existen ejemplos concretos de sistemas con objetivos similares al del proyecto en desarrollo. Estos sistemas se centran en la integración y normalización de datos clínicos para fines clínicos, administrativos y de investigación, lo que subraya la viabilidad y el valor de este tipo de herramientas.

- PilotFish [29], una empresa de software de integración, ha facilitado la interoperabilidad de datos HL7 entre sistemas de diferentes proveedores. Un caso de éxito documentado es la automatización de la entrada manual de datos y la verificación de seguros para una organización sin fines de lucro, lo que ayudó a reducir los errores y la carga administrativa. En otro ejemplo, PilotFish [29] ayudó a una firma de asistencia a hospitales a integrar rápidamente datos de EMR de más de 30 centros para una iniciativa de mejora de la calidad relacionada con la epidemia de opioides, cumpliendo con plazos ajustados.

- El programa IMPaCT-Data en España tiene como objetivo crear un "sistema común, interoperable e integrado" para la recogida y el análisis de datos clínicos y moleculares para impulsar la medicina de precisión [35]. Este proyecto busca establecer una infraestructura en la nube para la investigación, con protocolos para coordinar, integrar, gestionar y analizar los datos. Otro ejemplo, el Instituto Regenstrief [35] implementó una interfaz de Bulk FHIR para proporcionar acceso a datos de investigación a partir de un almacén de datos existente que contiene 16 mil millones de elementos de datos de más de 100 sistemas hospitalarios. Esto demostró cómo los estándares bien implementados pueden simplificar la interoperabilidad y facilitar la extracción de datos a gran escala.

- El Mount Sinai Health System [4] implementó con éxito HL7 FHIR para mejorar el acceso a los datos de los pacientes y facilitar la integración clínica en tiempo real en sus hospitales. Esto permitió una mejor coordinación entre proveedores y una visión más completa del historial del paciente.

- El Proyecto HL7 Da Vinci [4] desarrolló guías de implementación basadas en FHIR para automatizar el proceso de autorización previa, un proceso que tradicionalmente se basaba en faxes y llamadas telefónicas. Esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



automatización reduce las demoras en la atención y la carga administrativa tanto para los proveedores como para las aseguradoras.

A pesar de estos éxitos, la transición no está exenta de desafíos, como la dificultad de mapear datos de sistemas heredados con formatos no estándar [27]. El proyecto de desarrollo de la herramienta se posiciona como una solución que mitiga estos problemas, actuando como un puente crucial entre el pasado (**sistemas heredados**) y el futuro (**estándares modernos como FHIR**). La herramienta no sólo transforma los datos, sino que facilita la evolución de la interoperabilidad estructural (**HL7v2**) a la semántica (**FHIR**).

La Tabla 1 presenta un resumen de **casos de éxito de implementación** de estándares de interoperabilidad en el sector de la salud. A través de este cuadro comparativo, se ilustran los **beneficios y el impacto** de la adopción de tecnologías como HL7 y FHIR en áreas críticas, desde la integración de datos de laboratorio y la vigilancia de salud pública hasta la automatización de procesos administrativos y el fomento de la innovación.

Tabla 1 - Casos de éxito

| Caso de Éxito / Área | Estándar(es) | Beneficios claves | Impacto (Clínico, Administrativo, de Investigación) |
|---|---|---|---|
| Integración de Laboratorios y Dispositivos | HL7v2, HL7 FHIR | Reducción de errores de transcripción, captura de datos en tiempo real. | Aumento de la precisión diagnóstica y seguridad del paciente. |
| Vigilancia de Salud Pública | HL7 FHIR | Transmisión de datos en tiempo real a autoridades. | Respuestas más rápidas y basadas en datos a crisis sanitarias. |
| Coordinación Asistencial | HL7 FHIR | Visión integral del paciente, mejora de la comunicación entre proveedores. | Reducción de reingresos evitables y mejora de los resultados clínicos. |
| Automatización de Procesos | HL7v2, HL7 FHIR | Reducción de la carga administrativa, tramitación de reclamaciones más rápida. | Aumento de la eficiencia operativa y ahorro de costos. |
| Innovación en Aplicaciones | HL7 FHIR | Creación de aplicaciones móviles y de nube, acceso granular a los datos. | Desarrollo de soluciones "futuras", aumento del compromiso del paciente. |

*Tabla 1 Casos de éxito de implementación de estándares de interoperabilidad*

**Metodología de desarrollo: Historias de Usuario para el proyecto**

Las historias de usuario son una herramienta fundamental en las metodologías de desarrollo ágil, ya que capturan los requisitos funcionales desde la perspectiva del usuario final. En lugar de centrarse en las características técnicas, las historias de usuario se enfocan en las necesidades, los objetivos y los beneficios que el usuario obtendrá del sistema. Su uso en este proyecto garantiza que la herramienta de transformación se construya para resolver problemas reales, fomenta la colaboración en el equipo de desarrollo y permite una priorización efectiva de las tareas, asegurando que se entregue el mayor valor en el menor tiempo posible.
Para el proyecto centrado en la transformación de historias clínicas, se identifican varios perfiles de usuario que interactuarán con la herramienta o se beneficiarán de su resultado. La comprensión de estos roles es crucial para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



desarrollar historias de usuario significativas.
Los principales usuarios destacados corresponden a los siguientes roles:

- **Médico:** es el usuario principal que requiere acceso rápido y preciso a la información clínica para la toma de decisiones, el diagnóstico y el tratamiento.
- **Personal de Enfermería:** utiliza la herramienta para registrar datos de pacientes, consultar historiales y coordinar la atención.
- **Administrador de Datos / TI:** Responsable de la integridad, seguridad y correcta gestión de los datos. Este rol necesita una herramienta fiable y fácil de gestionar para la importación y exportación de datos.
- **Investigador Clínico:** Requiere acceso a grandes volúmenes de datos normalizados para estudios epidemiológicos y de investigación, con el fin de identificar patrones y relaciones que no serían evidentes en datos fragmentados.

**Historias de Usuario propuestas para el mapeo y transformación a HL7/FHIR**

## Metodología de desarrollo: Historias de Usuario para el proyecto

Las historias de usuario son una herramienta fundamental en las metodologías de desarrollo ágil [1], [28], ya que capturan los requisitos funcionales desde la perspectiva del usuario final [14]. En lugar de centrarse en las características técnicas, las historias de usuario se enfocan en las necesidades, los objetivos y los beneficios que el usuario obtendrá del sistema [1]. Su uso en este proyecto garantiza que la herramienta de transformación se construya para resolver problemas reales, fomenta la colaboración en el equipo de desarrollo y permite una priorización efectiva de las tareas, asegurando que se entregue el mayor valor en el menor tiempo posible [28].

Para el proyecto centrado en la transformación de historias clínicas, se identifican varios perfiles de usuario que interactuarán con la herramienta o se beneficiarán de su resultado. La comprensión de estos roles es crucial para desarrollar historias de usuario significativas.

Los principales usuarios destacados corresponden a los siguientes roles:

- **Médico**: es el usuario principal que requiere acceso rápido y preciso a la información clínica para la toma de decisiones, el diagnóstico y el tratamiento.
- **Personal de Enfermería**: utiliza la herramienta para registrar datos de pacientes, consultar historiales y coordinar la atención.
- **Administrador de Datos / TI**: Responsable de la integridad, seguridad y correcta gestión de los datos. Este rol necesita una herramienta fiable y fácil de gestionar para la importación y exportación de datos.
- **Investigador Clínico**: Requiere acceso a grandes volúmenes de datos normalizados para estudios epidemiológicos y de investigación, con el fin de identificar patrones y relaciones que no serían evidentes en datos fragmentados.

## Historias de Usuario propuestas para el mapeo y transformación a HL7/FHIR

Las historias de usuario son narrativas concisas que describen una funcionalidad desde la perspectiva del usuario final. Se redactan en un formato estandarizado ("Como [rol], quiero [objetivo] para [beneficio]") para asegurar que los desarrolladores comprendan el valor y el contexto de cada tarea [14]. Este enfoque,

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



centrado en el usuario y sus necesidades, es crucial para el desarrollo de la herramienta de conversión, ya que garantiza que las características del software estén directamente alineadas con los objetivos clínicos, administrativos y de investigación. A continuación, se detallan las historias de usuario propuestas para el proyecto, que sirven como un marco para guiar el desarrollo de una solución modular y adaptable.

La **Tabla 2** detalla las historias de usuario (HU) propuestas para el desarrollo de la herramienta de transformación de historias clínicas. Cada historia de usuario está diseñada para capturar un requisito funcional desde la perspectiva de un usuario final, siguiendo el formato estándar "Como [rol], quiero [objetivo] para [beneficio]". Esto asegura que cada funcionalidad que se construya esté directamente alineada con las necesidades y objetivos de los distintos perfiles que interactuarán con el sistema.

Tabla 2 - Historias de usuario

| ID de HU | Rol | Historia de Usuario |
|---|---|---|
| HU_001 | Médico | Como médico, quiero importar automáticamente historias clínicas transformadas al estándar HL7, para evitar la entrada manual de datos y reducir los errores que pueden poner en riesgo al paciente. |
| HU_002 | Personal de enfermería | Como personal de enfermería, quiero una interfaz donde pueda validar visualmente la transformación de los datos, para asegurar la precisión de la información antes de su integración final en la HCE del paciente. |
| HU_003 | Médico | Como médico, quiero ver un resumen conciso de las notas clínicas en el formato HL7, para poder comprender rápidamente el historial del paciente sin tener que leer notas extensas de texto libre. |
| HU_004 | Investigador Clínico | Como investigador, quiero exportar un conjunto de historias clínicas de múltiples bases de datos, normalizadas a FHIR, para realizar análisis epidemiológicos y estudios de casos de manera eficiente. |
| HU_005 | Administrador de datos | Como administrador de datos, quiero configurar los parámetros de conexión a la base de datos de historias clínicas existentes, para preparar la extracción de los registros antiguos para su conversión. |
| HU_006 | Administrador de TI | Como administrador de TI, quiero programar la ejecución de la herramienta para realizar la conversión, para evitar que la ejecución afecte el rendimiento del sistema hospitalario en horarios de alta demanda. |
| HU_007 | Desarrollador | Como desarrollador, quiero utilizar un conector modular para mi sistema actual, para integrar fácilmente la herramienta de conversión en mi aplicación sin necesidad de una interfaz gráfica. |
| HU_008 | Investigador | Como investigador, quiero aplicar filtros a los datos antes de la conversión, para exportar solo los registros de pacientes que cumplen con los criterios específicos de mi estudio. |

*Tabla 2: historias de usuario para el proyecto propuesta.*

**Enfoque Técnico y Arquitectónico para la Unificación de Plataformas**

La metodología de desarrollo del proyecto está cimentada en una **arquitectura de Microservicios** que permite la unificación de diversas plataformas de datos, abordando directamente el desafío de los sistemas heredados. **El proceso metodológico no se**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**limita a la recolección de requisitos (HU), sino que implementa una tecnología específica para resolver la fragmentación.**

Este enfoque técnico se basa en:

- **Arquitectura de Microservicios:** Se utiliza para crear componentes modulares e independientes (conectores de bases de datos, motores de transformación HL7, módulos de NLP) que pueden interactuar de forma flexible. Esto permite que la herramienta se conecte a *cualquier* plataforma heredada sin depender de un único proveedor o formato.
- **Estandarización Obligatoria (HL7/FHIR):** El corazón de la metodología técnica es asegurar que, independientemente del origen de los datos, el *output* sea siempre conforme al estándar HL7 o FHIR, garantizando la interoperabilidad semántica y estructural entre plataformas dispares.
- **Aplicación de IA para la Semántica:** La unificación de plataformas no solo es estructural (conexión de BBDD), sino *semántica*. La metodología incluye la integración de modelos de NLP (BioMed_NER, BioLORD) como pasos obligatorios en el flujo de trabajo para transformar datos no estructurados de notas clínicas en información estructurada y codificada, haciendo que los datos sean realmente *computables* y unificados bajo las terminologías médicas estándar.

Este enfoque arquitectónico y técnico justifica la capacidad de la herramienta para **unificar plataformas** y constituye el componente metodológico principal, mientras que las Historias de Usuario guían las funcionalidades necesarias.

**Expectativas y Discusiones**

Esta sección presenta las proyecciones y expectativas del proyecto, dado que se encuentra en la etapa inicial de investigación. Los resultados aquí descritos son hipotéticos.

**Conclusión y trabajos futuros**

El análisis realizado confirma que el proyecto de software para la transformación de historias clínicas al estándar HL7 es una contribución significativa para superar la fragmentación de datos que aqueja a los sistemas de salud. La revisión de los casos de éxito demuestra que la interoperabilidad no es un ideal teórico, sino una necesidad práctica con beneficios tangibles en la seguridad del paciente, la eficiencia operativa y la innovación. Las historias de usuario propuestas validan la relevancia de la herramienta para los profesionales de la salud, y la revisión de modelos de IA de Hugging Face confirma la viabilidad de utilizar el procesamiento de lenguaje natural para abordar el problema de los datos no estructurados en las HCE.

A pesar de las promesas, el camino hacia la interoperabilidad completa y la integración de la IA no está exento de obstáculos. La principal barrera es la necesidad de un enfoque integral que no solo aborde los desafíos técnicos de la integración con sistemas heredados, sino que también gestione de manera proactiva los riesgos éticos de la privacidad de los datos, el sesgo algorítmico y la opacidad de los modelos.

Los trabajos futuros deben centrarse en varias líneas de investigación para llevar el proyecto a su plena madurez. Se sugiere la realización de una prueba piloto de la herramienta en un entorno clínico real para validar su rendimiento y usabilidad. Además, se debe explorar la automatización del proceso de ajuste fino de los modelos de IA utilizando datos anonimizados, lo que podría ayudar a mitigar el problema de la disponibilidad de datos. Finalmente, la investigación debería extenderse para explorar cómo la herramienta podría facilitar la interoperabilidad organizativa, permitiendo el intercambio de datos entre

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



múltiples instituciones bajo un marco de gobernanza común. El desarrollo de esta herramienta, con un enfoque en la seguridad, la ética y la transparencia, representa un paso fundamental hacia la creación de un ecosistema de salud verdaderamente conectado y centrado en el paciente.

**Referencias**

[1] Atlassian, "Historias de usuario con ejemplos y plantilla," Atlassian. [Online]. disponible: https://www.atlassian.com/es/agile/project-management/user-stories. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[2] M. Balasubramanian, "DistilBart-Med-Summary," Hugging Face, 2025. [Online]. disponible: https://huggingface.co/Mahalingam/DistilBart-Med-Summary. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[3] BGBG.mx, "Transparencia y explicabilidad en la IA: La clave para generar confianza y evitar sesgos (segunda parte)," BGBG. [Online]. disponible: https://bgbg.mx/transparencia-y-explicabilidad-en-la-ia-la-clave-para-generar-confianza-y-evitar-sesgos-segunda-parte/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[4] Clindcast, "The top 8 real-world FHIR use cases transforming healthcare interoperability," Clindcast. [Online]. disponible: https://www.clindcast.com/the-top-8-real-world-fhir-use-cases-transforming-healthcare-interoperability/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[5] Cirrus, "HL7: El estándar de comunicación para los sistemas de salud," Cirrus. [Online]. disponible: https://www.getcirrus.com/blog/hl7-el-estandar-de-comunicacion-para-los-sistemas-de-salud. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[6] Dataloop AI, "BioLORD 2023 C," Dataloop AI, 2023. [Online]. disponible: https://dataloop.ai/library/model/fremycompany_biolord-2023-c/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[7] DriCloud, "Historia clínica ejemplos: Guía completa con modelos y consejos," DriCloud. [Online]. disponible: https://dricloud.com/historia-clinica-ejemplos/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[8] eCQI Resource Center, "About FHIR," eCQI Resource Center. [Online]. disponible: https://ecqi.healthit.gov/fhir/about. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[9] eHealth Reporter, "Diferentes aplicaciones muestran los beneficios de FHIR en la primera línea de atención médica," EHealth Reporter. [Online]. disponible: https://ehealthreporter.com/diferentes-aplicaciones-muestran-los-beneficios-de-fhir-en-la-primera-linea-de-atencion-medica/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[10] "Aplicaciones de los sistemas de información," *Enfermería Global*, vol. 4, pp. 3-7, 2004.

[11] Farma Biotec, "Inteligencia artificial explicable: Imprescindible en el ámbito de la salud," Farma Biotec. [Online]. disponible: https://www.farmabiotec.com/articulos/inteligencia-artificial-explicable-imprescindible-en-el-ambito-de-la-salud. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[12] FreeCodeCamp, "How to build a text summarizer using Hugging Face Transformers," FreeCodeCamp. [Online]. disponible: https://www.freecodecamp.org/news/how-to-build-a-text-summarizer-using-huggingface-transformers/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[13] FremyCompany, "BioLORD-Dataset," Hugging Face, 2025. [Online]. disponible: https://huggingface.co/datasets/FremyCompany/BioLORD-Dataset. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[14] G. Garavito Albao, "Anexo 7: Historias de usuario," Repositorio Institucional Universidad El Bosque, 2021. [Online]. disponible: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/6957/Anexo_7_Garavito_Albao_Gabriela_2021_Historias_Usuario.pdf. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[15] Gesttor, "HL7: El estándar para el intercambio de información médica," Gesttor. [Online]. disponible: https://gesttor.com/blog/hl7-estandar-para-intercambio-informacion-medica/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[16] Google Cloud, "Conceptos de FHIR," Google Cloud. [Online]. disponible: https://cloud.google.com/healthcare-api/docs/concepts/fhir?hl=es-419. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[17] Greenflux, "Named entity recognition with BERT and Hugging Face," Greenflux Blog. [Online]. disponible: https://blog.greenflux.us/named-entity-recognition-with-bert-and-hugging-face/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[18] Helios9, "BioMed_NER," Hugging Face, 2025. [Online]. disponible: https://huggingface.co/Helios9/BioMed_NER. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[19] IA Medica, "Privacidad de datos de pacientes en la era de la inteligencia artificial," IA Medica. [Online]. disponible: https://iamedica.org/blog-post61. [Accessed: Dec. 25, 2023].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[20] IA Medica, "Sesgos algorítmicos," IA Medica. [Online]. disponible: https://iamedica.org/blog-post63. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[21] IBM, "What is interoperability in healthcare?," IBM. [Online]. disponible: https://www.ibm.com/es-es/topics/interoperability-in-healthcare. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[22] Intersystems, "HL7 FHIR," Intersystems. [Online]. disponible: https://www.intersystems.com/es/soluciones/fhir/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[23] Intersystems, "Interoperabilidad en la asistencia sanitaria," Intersystems. [Online]. disponible: https://www.intersystems.com/es/recursos/interoperabilidad-en-la-asistencia-sanitaria/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[24] V. R. Lombardo, "Seguridad y privacidad en inteligencia artificial," Hospital Italiano de Buenos Aires, 2025. [Online]. disponible: http://www1.hospitalitaliano.org.ar/landing/innova-salud-digital/articulos/seguridad-y-privacidad-en-inteligencia-artificial. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[25] Medvalue, "Protección de datos sanitarios (LOPD, RGPD) sector salud: Claves y obligaciones," Medvalue. [Online]. disponible: https://medvalue.es/proteccion-de-datos-sanitarios-lopd-rgpd-sector-salud-claves-y-obligaciones/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[26] Medsys, "Sesgos algorítmicos en el diagnóstico médico y la equidad en IA," Medsys. [Online]. disponible: https://medsys.ai/es/blog/sesgos-algoritmicos-diagnostico-medico-equidad-ia.html. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[27] Microtek Learning, "Top 10 challenges hospitals face when implementing HL7 FHIR—and solutions," Microtek Learning. [Online]. disponible: https://www.microteklearning.com/blog/hl7-fhir-challenges-and-solutions-for-hospitals/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[28] Miro, "¿Qué es una historia de usuario y cómo crear una?," Miro. [Online]. disponible: https://miro.com/es/agile/que-es-historia-usuario/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[29] PilotFish Technology, "Powerful HL7 integration case studies & successes," PilotFish Technology. [Online]. disponible: https://healthcare.pilotfishtechnology.com/hl7-case-studies/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[30] PMC, "Using medical text extraction, reasoning and mapping system (MTERMS) to process medication information in outpatient clinical notes," PubMed Central. [Online]. disponible: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3243163/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[31] PMC, "Clinical decision-making in healthcare often relies on unstructured text data...," PubMed Central. [Online]. disponible: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11889313/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[32] F. Remy, K. Demuynck, and T. Demeester, "BioLORD: Learning ontological representations from definitions for biomedical concepts and their textual descriptions," in *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2022*, 2022, pp. 1454-1465.

[33] G. R. Romero, G. Rossi, and N. Battaglia, "GenIA para aplicaciones web de e-learning: Mapeo sistemático de la literatura," unpublished manuscript, 2025.

[34] J. A. Salvador Oliván, "Sistemas de información hospitalaria," ResearchGate. [Online]. disponible: https://www.researchgate.net/publication/28239390_Sistemas_de_informacion_hospitalaria. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[35] Smart Health IT, "Case studies," Smart Health IT. [Online]. disponible: https://good-neighbor.smarthealthit.org/case-studies/. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[36] Université de Limoges, "La IA en la atención médica: Consideraciones de privacidad y seguridad de datos," TRAHS. [Online]. disponible: https://www.unilim.fr/trahs/index.php?id=6349&lang=en. [Accessed: Dec. 25, 2023].

[37] "Sesgo algorítmico," in *Wikipedia*. [Online]. disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Sesgo_algor%C3%ADtmico. [Accessed: Dec. 25, 2023].

**Datos de contacto:**
*Pablo Sebastian Serfaty, Universidad de la Cuenca del Plata - Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura. pablosserfaty@gmail,com.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# SUAP: Sistema Universitario de Acompañamiento y Permanencia Una Experiencia con SCRUM

**Ayala Benitez, Camila Andrea** **Velez, Priscila Zoé** **Bascuñan, Agustin Ezequiel**

**Baigorria, Lorena (Tutor)** **Peralta, Mario (Tutor)**

***Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales***

**Abstract**
*Se propuso el desarrollo de un sistema multiplataforma que facilite el seguimiento y acompañamiento de los estudiantes de la facultad, debido a que en los primeros años universitarios, los estudiantes enfrentan desafíos de adaptación académica, personal y social, que se ven potenciados por la masividad de las cursadas y la dificultad de establecer vínculos cercanos con docentes y compañeros.*
*El sistema centralizará y organizará información vinculada a asistencia, calificaciones y trayectorias académicas, ofreciendo a los docentes un medio ágil y confiable para gestionar sus cursos, detectar tempranamente situaciones particulares y favorecer la toma de decisiones pedagógicas. A su vez, permitirá a los estudiantes acceder de manera rápida y personalizada a sus datos académicos, promoviendo su autonomía en la gestión de la cursada y fortaleciendo la comunicación con los docentes. De este modo, la propuesta busca favorecer la integración de los estudiantes y promover la permanencia en los estudios universitarios.*

*Para garantizar que el desarrollo de esta herramienta responda de manera efectiva a las necesidades reales de la comunidad académica, se adoptó la metodología ágil SCRUM. Esta elección implica la aplicación de sus principios teóricos y su implementación práctica en un caso real, a través de iteraciones cortas, reuniones de seguimiento y la colaboración constante entre los distintos actores involucrados. De esta forma, se asegura que el sistema evolucione de manera flexible y dinámica, incorporando retroalimentación continua y ajustándose a los cambios que surjan durante el proceso.*

**Palabras Clave**
Ingreso y permanencia, SCRUM, metodologías ágiles, aplicación web y móvil.

## Introducción

En el contexto de la educación superior contemporánea, la retención y el acompañamiento estudiantil se han convertido en temas de creciente interés académico y científico. Las instituciones universitarias de todo el mundo enfrentan el desafío de garantizar que los estudiantes no solo ingresen, sino que también completen sus estudios de manera exitosa. Se sabe que las primeras etapas de la vida universitaria son las más críticas, caracterizadas por una compleja adaptación académica, social y personal. Para muchos, la transición de la escuela secundaria a la universidad es un cambio abrupto. Los estudiantes se sienten desorientados, sin tener en claro cómo manejar la información de las cursadas, las materias o los horarios. A esto se le suma la dificultad que produce la masividad en las aulas, donde tareas rutinarias como la toma de asistencia se vuelve una tarea exhaustiva que consume un tiempo valioso de clase para el docente. Esta dinámica genera un ambiente impersonal que dificulta la conexión entre estudiantes y profesores. [1][2]

Además, los estudiantes se sienten vulnerables en situaciones como la publicación masiva de notas, donde la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



privacidad de sus resultados académicos no siempre está protegida, lo que puede generar estrés y sensación de exposición innecesaria frente a sus pares. Estas condiciones refuerzan la desorientación inicial y pueden impactar negativamente en la permanencia y el rendimiento académico.

Por otro lado, el análisis de indicadores refleja que la deserción y el bajo rendimiento en los primeros años requieren atención especial, evidenciando una marcada pérdida de estudiantes durante el primer año [1][2][3]. A pesar de programas de acompañamiento [4][5], persiste la necesidad de un sistema integral de acompañamiento y permanencia. El sistema propuesto en el presente trabajo beneficia tanto a docentes como a estudiantes: permitiendo a los primeros realizar la toma de asistencia de manera ágil, cargar calificaciones de instancias evaluativas en un único lugar, y confirmar asistencias a las mismas para un mejor manejo de los recursos; mientras que los estudiantes pueden acceder de forma rápida y privada a sus notas, registrar su asistencia y consultar información académica relevante de manera confiable. De este modo, la herramienta recolecta y analiza esta información, generando estadísticas que permiten identificar posibles dificultades o áreas de mejora en la cursada, favoreciendo la autonomía estudiantil, facilitando la gestión docente y contribuyendo a la permanencia y finalización exitosa de los estudios universitarios.

Asimismo, las comisiones de seguimiento de carreras, encargadas del seguimiento académico, también se verían beneficiadas, ya que la herramienta les permitirá acceder a estadísticas claras y actualizadas sobre el desempeño de la carrera, facilitando el análisis y la toma de decisiones orientadas a mejorar la calidad educativa.
Se optó por utilizar la metodología SCRUM como guía para el desarrollo del sistema, una metodología ágil que aplica regularmente un conjunto de buenas prácticas para trabajar en equipo de manera colaborativa, con el objetivo de obtener los mejores resultados en un proyecto. Al analizar nuestras opciones, distinguimos que el uso de SCRUM resultaba beneficioso, ya que permite un trabajo dinámico dentro del equipo, potenciando sus capacidades. Además, cada integrante se compromete a cumplir con los requisitos establecidos y cuenta con la autoridad necesaria para organizar su propio trabajo.

**Contexto Facultad**
El abandono universitario constituye una problemática recurrente en las instituciones de educación superior, influida por factores sociales, académicos y personales. En particular, la masividad de la vida universitaria suele generar en los estudiantes sentimientos de anonimato, ansiedad y dificultades de adaptación entre el nivel secundario y el superior.

Con el fin de comprender el entorno en el que se implementará el sistema, se realizó un relevamiento con docentes y estudiantes de la Facultad. Entre las principales necesidades identificadas se encuentran: la sobrecarga docente derivada de la gestión de calificaciones, asistencia en cursos numerosos, la falta de un espacio unificado para que los estudiantes consulten su rendimiento académico durante la cursada, y la dificultad de prever la cantidad de estudiantes que asistirán a instancias evaluativas.

Asimismo, se detectaron problemáticas vinculadas al cumplimiento normativo: la publicación generalizada de calificaciones puede contravenir la Ley 25.326 [6] de Protección de Datos Personales y la normativa académica vigente, además de incrementar la ansiedad estudiantil. De igual modo, los métodos actuales de registro de asistencia presentan limitaciones en términos de transparencia y fiabilidad.

En este contexto, el sistema propuesto busca optimizar la gestión docente y ofrecer

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



a los estudiantes un entorno más organizado y transparente. Entre sus aportes se destacan: la comunicación personalizada de calificaciones, el registro digital y confiable de asistencias, la confirmación previa de participación en evaluaciones, el acceso rápido a contactos de emergencia y la generación de estadísticas pedagógicas que permitan identificar patrones y orientar la toma de decisiones académicas.

**Trabajos Relacionados**

En el ámbito educativo, la gestión de asistencia y calificaciones ha dado lugar a múltiples soluciones digitales que buscan optimizar estas tareas. Entre ellas se destacan plataformas internacionales como Humansite (Asisto) [7], orientada al control de asistencia y gestión de personal con dispositivos biométricos; Edusign [8], que combina QR dinámicos, geolocalización y firma digital; y Additio App [9], concebida como cuaderno digital con integración a sistemas educativos como Moodle o Google Classroom. También existen propuestas como Dinantia [10], que prioriza la comunicación entre docentes, familias y estudiantes, incorporando módulos de asistencia y notificaciones en tiempo real.

Si bien estas herramientas aportan ventajas en términos de automatización y centralización de información, presentan limitaciones relevantes para nuestro contexto: altos costos de implementación, dependencia de tecnologías que no siempre garantizan accesibilidad, riesgos asociados a la protección de datos y un enfoque generalista que no responde a la problemática de la masividad universitaria ni a las particularidades normativas locales.

En Argentina, el SIU Guaraní constituye el sistema oficial de gestión académica utilizado por la mayoría de las universidades nacionales. Este software administra procesos clave como inscripciones, actas de examen y registro de calificaciones, constituyéndose en la base administrativa formal. Sin embargo, su alcance es principalmente administrativo y no tiene habilitado funcionalidades claves como la gestión dinámica de asistencias en el aula, la comunicación personalizada de calificaciones o la retroalimentación estudiantil.

En este escenario, se identifica una brecha: la necesidad de un sistema que integre en un mismo entorno la gestión de asistencia confiable, la comunicación individualizada de calificaciones, la confirmación previa de instancias evaluativas y la generación de estadísticas pedagógicas, todo ello cumpliendo con la normativa vigente en materia de protección de datos. La propuesta presentada en este trabajo se orienta a cubrir esa necesidad, ofreciendo una alternativa ajustada al contexto universitario local y superando las limitaciones observadas en los sistemas existentes.

**Metodologías**

Las metodologías de desarrollo se concentran en la aplicación de un enfoque sistemático de fases a completar para alcanzar los objetivos planteados, para el desarrollo, la implementación y la gestión del proyecto. Las pautas y procesos a seguir sistemáticamente para ingeniar, implementar y mantener el producto de software desde los requerimientos hasta que estos se satisfacen. [11]

Una metodología optimiza el proceso de la creación de software definiendo estrategias globales para enfrentar el proyecto. Siendo estas un marco de trabajo utilizado para estructurar, planificar y controlar todo el desarrollo, estos han ido evolucionando en el tiempo con sus propios defectos y virtudes. Una metodología de desarrollo no necesariamente es aplicable en todos los proyectos. [11]

Se clasifican en dos grandes grupos: las tradicionales y las ágiles. En el presente proyecto, por la necesidad de hacer entregas incrementales y la previsión de posibles cambios en el transcurso de desarrollo, se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



optó por la metodología ágil, la cual nace como respuesta a los problemas que puedan ocasionar las metodologías tradicionales y se basa en dos aspectos fundamentales, retrasar las decisiones y la planificación adaptativa. Basan su fundamento en la adaptabilidad de los procesos de desarrollo.

Un modelo de desarrollo ágil, generalmente es un proceso Incremental (entregas frecuentes con ciclos rápidos), también Cooperativo (clientes y desarrolladores trabajan constantemente con una comunicación muy fina y constante), Sencillo (el método es fácil de aprender y modificar para el equipo) y finalmente Adaptativo (capaz de permitir cambios de último momento). Estas metodologías proporcionan una serie de pautas y principios junto a técnicas pragmáticas que hacen que la entrega del proyecto sea menos complicada y más satisfactoria tanto para los clientes como para los equipos de trabajo, evitando de esta manera los caminos burocráticos de las metodologías tradicionales, generando poca documentación y no haciendo uso de métodos formales. También ponen de relevancia que la capacidad de respuesta a un cambio es más importante que el seguimiento estricto de un plan.

Dentro de las metodologías ágiles se encuentra Scrum [12] que es un marco ligero que ayuda a equipos y organizaciones a generar valor en entornos complejos. Define reglas mínimas y esenciales, dejando espacio para la adaptación según el contexto. Se basa en empirismo (aprender de la experiencia, decidir con base en la observación) y pensamiento Lean (reducir desperdicios, enfocarse en lo esencial). Funciona de forma iterativa e incremental, apoyado en tres pilares: Transparencia, Inspección y Adaptación.

El Equipo Scrum (Scrum Team) es la unidad básica, generalmente un equipo pequeño (10 o menos), multidisciplinario y autogestionado, sin jerarquías internas y está formado por: Desarrolladores, el Product Owner y el Scrum Master.

Scrum tiene Eventos los cuales se desarrollan dentro de un Sprint, los Sprints son eventos de longitud fija de un mes o menos para crear consistencia. Un nuevo Sprint comienza inmediatamente después de la conclusión del Sprint anterior. Los eventos son:
- Sprint Planning: Se define el Objetivo del Sprint, qué se hará y cómo.
- Daily Scrum: Reunión diaria de 15 min para revisar el progreso y ajustar el plan.
- Sprint Review: Inspección del trabajo hecho y discusión con stakeholders para decidir próximos pasos.
- Sprint Retrospective: Reflexión interna del equipo para mejorar calidad y eficacia.

Finalmente Scrum cuenta con artefactos que representan trabajo o valor donde cada uno contiene un compromiso para garantizar que proporciona información que mejora la transparencia y el enfoque con el que se puede medir el progreso, estos compromisos existen para reforzar el empirismo y los valores de Scrum para el equipo de Scrum y sus partes interesadas. Los artefactos son:
- Product Backlog (Pila del Producto)
- Sprint Backlog (Pila del Sprint)
- Increment (Incremento)

Particularmente, haremos énfasis en la Pila del Producto, que consiste en una lista emergente y ordenada de todo lo necesario para mejorar el producto. Los ítems de la Pila del Producto que el equipo de Scrum puede completar dentro de un Sprint se consideran listos para su selección durante el Sprint Planning. Estos ítems suelen expresarse como historias de usuario, cuyo propósito es describir cómo una funcionalidad o tarea aportará valor al cliente. Las historias pueden agruparse en épicas, y a su vez descomponerse en tareas necesarias para su implementación. Además, cada historia de usuario incluye

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



criterios de aceptación, que establecen las condiciones indispensables para considerar su entrega como exitosa.

**Implementación**

En este marco, la adopción de Scrum permitió articular la problemática detectada con un proceso de desarrollo colaborativo, en el que se definieron de manera progresiva el alcance, los objetivos y las funcionalidades claves del sistema.

Para llevar adelante su aplicación, se inició con la etapa de ingeniería de requisitos, en la cual se realizaron entrevistas a docentes, estudiantes y otros actores clave. Este proceso permitió relevar un conjunto diverso, y en muchos casos cambiante, de necesidades, a partir de las cuales se delinearon los primeros requerimientos del sistema. Con base en esa información, se definió un alcance inicial orientado a brindar una herramienta de apoyo a los docentes para el seguimiento y acompañamiento de la cursada, y se establecieron de manera clara los objetivos principales que guiarán la implementación del proyecto, los cuales se listan debajo.

- Facilitar al docente la gestión y consulta de asistencias.
- Favorecer la administración de recursos a partir del conocimiento previo de asistencias a instancias evaluativas.
- Optimizar la carga y seguimiento de las calificaciones de los estudiantes.
- Notificar calificaciones a los estudiantes de forma personalizada.
- Agilizar la visualización del historial de sus calificaciones al estudiante.
- Realizar la verificación de la inscripción de los estudiantes asistentes con los inscriptos en el SIU de forma automática.
- Dar espacio a los estudiantes para expresar su opinión sobre la cursada y que los docentes puedan conocerla.
- Obtención de los contactos de emergencia de estudiantes.
- Brindar estadísticas relevantes de la cursada al docente.

A partir de los objetivos planteados fue posible identificar los temas principales del sistema, entendidos como una abstracción de lo que se espera lograr con él. Con la información recopilada se definieron tres temas centrales, que se describen a continuación:

- Se espera que los docentes puedan gestionar la asistencia de manera ágil, mientras que los estudiantes tengan la posibilidad de cargarla en forma sincrónica.
- Se espera que los docentes puedan gestionar fácilmente las calificaciones y compartirlas con los estudiantes, quienes recibirán notificaciones personalizadas y podrán acceder ágilmente a su historial académico.
- Se desea que los docentes y gestión académica puedan visualizar información a través de estadísticas sobre la cursada actual y cursadas anteriores de materias particulares.

A partir de estos temas se definieron las tres épicas principales del sistema, entendidas como grandes funcionalidades o incluso posibles subsistemas en sí mismos: Gestión de asistencias, Gestión de calificaciones y Panel de control para análisis y toma de decisiones. Estas épicas surgieron de los requisitos recolectados durante las entrevistas, los cuales fueron traducidos en historias de usuario específicas para cada perfil del sistema, contemplando sus necesidades particulares y las problemáticas que se buscaba resolver. Durante este proceso también se identificaron relaciones entre diferentes historias de usuario, lo que permitió organizarlas y agruparlas en las respectivas épicas.

Por otra parte, se detectaron ciertas necesidades que no podían integrarse en ninguna de las épicas, ya que correspondían a requerimientos puntuales. Estos se tradujeron en historias de usuario singulares.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Para cada una de las historias se hizo detalle de criterios de aceptación. La definición de dichos criterios no solo otorgó mayor claridad respecto al alcance de cada una, sino que también permitió asignar un nivel de prioridad relativo, facilitando así la determinación del orden de desarrollo.

Este análisis, realizado en conjunto con el Product Owner, posibilitó la priorización de las historias de usuario individuales y agrupadas en épicas, de manera que la prioridad interna de cada historia de una épica estuviera alineada con el avance esperado de la misma correspondiente. De esta forma, se aseguró que el sistema evolucionará progresivamente en concordancia con las expectativas y necesidades reales de los stakeholders.

Una vez definida la prioridad de cada historia de usuario, se construyó la pila de producto (Product Backlog), la cual se constituyó en la guía para la asignación de tareas y el desarrollo iterativo del sistema, con el objetivo de entregar un Producto Mínimo Viable (PMV) en las primeras etapas.

Con el fin de obtener una visión más clara del sistema, se elaboró un modelo de casos de uso, en el cual se representan tanto las épicas como las historias de usuario singulares.

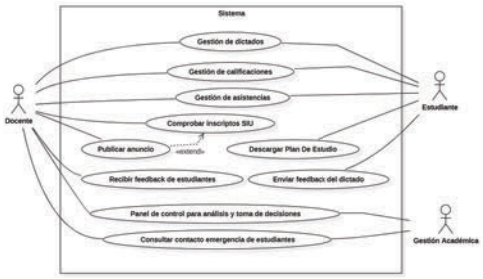



*Figura 1: Modelo de Casos de Uso (parte).*

En la Figura 1 se detallan las épicas y las historias de usuario representadas mediante casos de uso. En este trabajo nos centraremos particularmente en la épica de Gestión de Asistencias, cuyo propósito es optimizar el proceso de registro de asistencia por parte de los docentes. Este proceso cobra especial relevancia en aquellas materias de los primeros años de las carreras, donde la elevada cantidad de estudiantes suele volver la toma de asistencia una tarea lenta y, en muchos casos, omitida. Cabe destacar que la asistencia no constituye únicamente un registro administrativo, sino también un indicador pedagógico relevante, que puede aportar información valiosa para enriquecer la experiencia educativa.

Dentro de esta épica se incluyen historias de usuario como: la toma de asistencia, el marcado de asistencia, la visualización de asistencias tanto desde la perspectiva del docente como del estudiante, y la confirmación de asistencia en instancias de evaluación, lo cual contribuye a una mejor gestión de los recursos disponibles.
Por cuestiones de extensión, en este trabajo abordaremos únicamente la historia de usuario de la toma de asistencia.

El flujo de esta funcionalidad comienza cuando el docente inicia sesión en el sistema con su correo y contraseña. Una vez autenticado, se le presenta un listado de los dictados de las materias a las que pertenece, a partir del cual podrá seleccionar el dictado específico en el que desea tomar asistencia.
Al acceder al dictado, el sistema le ofrece una barra de navegación que le permite dirigirse a la sección de asistencias, donde puede iniciar el proceso de registro.




*Figura 2: Panel de toma de asistencia.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En la Figura 2 se presenta el diseño del panel de toma de asistencia, en el cual el docente registra la presencia de los estudiantes mediante un código alfanumérico o un código QR generado automáticamente al inicio del proceso. Para reforzar la validez del registro, se incorporó el uso de geolocalización, que permite verificar que el estudiante se encuentre, al menos, dentro de las instalaciones de la institución. Esta decisión responde a las preocupaciones manifestadas por diversos docentes, quienes señalaron que en experiencias previas de asistencia remota algunos estudiantes registraban su presencia sin estar efectivamente en clase.




*Figura 3: Inicio de toma de asistencia.*

Una vez comenzado el proceso de toma de asistencia, el docente podrá visualizar, dependiendo el modo que haya seleccionado, el código QR o el código alfanumérico como se muestra en la Figura 3 donde se muestra el código y un aviso que señala el inicio del proceso de asistencia, mostrando además, en tiempo real, el aumento de los estudiantes que van marcando su asistencia.

Finalmente, la implementación de la funcionalidad de toma de asistencia constituye un ejemplo representativo de cómo la problemática detectada pudo traducirse en una solución práctica y validada por los usuarios mediante la aplicación de Scrum. Este enfoque posibilitó capturar los requisitos de forma iterativa e incremental, manteniendo un canal de comunicación constante con los stakeholders. Como resultado, se logró una mejor comprensión del problema y una reducción significativa del riesgo de construir funcionalidades que no aporten valor a los usuarios.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Actualmente continúa el desarrollo de la totalidad del sistema propuesto, con el objetivo de que, una vez finalizado, la universidad disponga de una herramienta propia y gratuita. De este modo, aun en el contexto presupuestario actual, se garantiza la disponibilidad de un recurso sostenible que aporte valor sin generar costos adicionales.

Los resultados esperados con la utilización de la herramienta se orientan a que los docentes puedan registrar la asistencia en cada clase de manera sencilla y con un mínimo de esfuerzo, optimizar la carga y el seguimiento de las calificaciones, y, a partir de estas funcionalidades, acceder a un panel de apoyo para la toma de decisiones pedagógicas, que pueda integrarse en su metodología de trabajo.

En el caso de los estudiantes, la herramienta busca acompañarlos a lo largo de la cursada de las distintas materias, permitiéndoles visualizar de manera ágil y organizada su avance y progreso académico.

Si bien la planificación y el desarrollo del sistema se han limitado inicialmente a una facultad en particular, su diseño fue estructurado de manera tal que pueda extenderse a diferentes unidades académicas y universidades, ofreciendo esta herramienta a todas aquellas instituciones que deseen beneficiarse de ella.

Cabe destacar que el uso de SCRUM en un caso real es un aporte significativo a nuestra formación académica y profesional. Al aplicar en forma práctica esta metodología permite constatar su utilidad en equipos de desarrollo que requieren entrega y validación continua.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Como líneas de trabajo futuro, se identificaron funcionalidades que aportarían un mayor valor tanto desde la perspectiva del estudiante como de la gestión institucional. Entre ellas se destacan la posibilidad de que los estudiantes administren sus horarios directamente desde el sistema, así como la incorporación de una sección específica para estudiantes ingresantes, lo que permitiría continuar con la recopilación y el análisis de datos de asistencia, generando indicadores útiles para la toma de decisiones.

**Referencias**

[1] Dra. Alicia Maccagno, Dr. Arnaldo Mangeaud, A. de Sist. Cristina Somazzi, Lic. Nicolás Esbry. La deserción estudiantil en el primer año de la universidad. Accedido el 1 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.unc.edu.ar/sites/default/files/Libro%20Deserci%C3%B3n%20PEU-SAA-UNC.pdf
[2] María Sanseau, Julia Sánchez Cestona, Sabrina Calio. Permanencia de las y los estudiantes en la universidad. Accedido el 1 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.coneau.gob.ar/archivos/publicaciones/PermanenciaEstudiantesUniversidad.pdf
[3] Indicadores Institucionales FCFMyN, UNSL. Accedido el 4 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: http://acreditacion.unsl.edu.ar/wp-content/uploads/indicadores%20institucionales/Libro%20Estadistica%20DIGITAL/LIBRO%20ESTADISTICAS%20-%20FCFMyN%28DIGITAL%29.pdf
[4] "OCS-1-33/02 Programa de Ingreso y Permanencia de Estudiantes a la UNSL". Accedido el 4 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: http://digesto.unsl.edu.ar/html/200212/20021209095832_8333.html
[5] "OCS-25/2024 Programa EGRESAR". Accedido el 4 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible; http://digesto.unsl.edu.ar/docs/202411/20241128130403_3445.pdf
[6] Honorable Congreso de la Nación Argentina. (2000). Ley Nacional de Protección de los Datos Personales (Ley n.º 25326), texto completo. Boletín Oficial, 2 de noviembre de 2000. Accedido el 5 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25326-64790/texto
[7] HumanSite. Asisto. Accedido el 3 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://www.humansitemexico.com/asisto-tiempo-y-asistencia/
[8] Edusing. Accedido el 4 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://edusign.com/es/
[9] Additio App. Accedido el 4 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://additioapp.com/asistencia/
[10] Dinatia. Accedido el 4 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://dinantia.com/es/control-asistencia-escolar/
[11] Maida Esteban Gabriel, Paciencia Julián. Metodologías de desarrollo de software. Accedido el 5 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/522/1/metodologias-desarrollo-software.pdf
[12] The 2020 Scrum guide. Accedido el 8 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible: https://scrumguides.org/scrum-guide.html

**Datos de Contacto:**

Ayala Benitez, Camila Andrea.
camilaayalabe2@gmail.com.
Universidad Nacional de San Luis. 5700.

Bascuñan, Agustin Ezequiel.
tincho082009@gmail.com.
Universidad Nacional de San Luis. 5700.

Velez, Priscila Zoé.
prizoevelez@gmail.com.
Universidad Nacional de San Luis. 5700.

Baigorria Fernandez, Lorena Soledad (Tutor).
lorenabaigorria@gmail.com.
Universidad Nacional de San Luis. 5700.

Peralta, Mario (Tutor).
mgperalta03@gmail.com.
Universidad Nacional de San Luis. 5700.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Mapeo Sistemático de la Literatura sobre Modelos LSTM e Híbridos para Predicción de Demanda en Retail

**Juan Francisco González Junior**
***Universidad Cuenca del Plata, Facultad de Ingeniería, Tecnología y Arquitectura***

**Abstract**
Este trabajo presenta un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL) enfocado en el uso de redes neuronales recurrentes, particularmente LSTM (Long Short-Term Memory) y variantes híbridas, aplicadas a la predicción de demanda en el sector retail. Se realizaron búsquedas estructuradas en bases académicas (IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, Google Scholar) y repositorios prácticos (Kaggle, GitHub) para identificar artículos, datasets y proyectos relevantes publicados entre 2018 y 2025. Los resultados muestran que los modelos LSTM superan a los enfoques estadísticos tradicionales en precisión y escalabilidad, mientras que las arquitecturas híbridas (CNN-LSTM, BiLSTM, GRU) ofrecen mejoras adicionales en métricas de error (MAE y RMSE) de entre 7 % y 15 %, a costa de una mayor complejidad computacional. Asimismo, se observó que las soluciones corporativas disponibles (Intel, Amazon, SAP) son costosas y dependientes de ecosistemas cerrados, lo que contrasta con la necesidad de herramientas accesibles para PyMEs. El estudio concluye que existe una brecha tecnológica que puede ser abordada mediante plataformas abiertas, reproducibles y escalables basadas en la evidencia recopilada, y que la estructura metodológica empleada incorpora principios de trazabilidad y reproducibilidad propios del enfoque ingenieril aplicado a estudios sistemáticos de literatura.

**Palabras clave**
Inteligencia Artificial, LSTM, Predicción de Demanda, Personalización de Ofertas, Retail.

## Introducción

La transformación digital ha modificado profundamente la forma en que los negocios gestionan sus operaciones y toman decisiones estratégicas. [4] La creciente disponibilidad de datos provenientes de sistemas de ventas, plataformas de comercio electrónico e inventarios habilita la aplicación de técnicas avanzadas de Inteligencia Artificial (IA) para anticipar tendencias, optimizar recursos y personalizar la experiencia de los clientes.

Sin embargo, estas capacidades no se distribuyen de manera equitativa. Las grandes corporaciones suelen apoyarse en soluciones robustas y costosas como SAP (Systems, Applications and Products in Data Processing) u Oracle, mientras que plataformas globales como Amazon y Mercado Libre han desarrollado sistemas propios optimizados para su ecosistema digital [3][4]. Dichas infraestructuras cumplen funciones equivalentes —gestión de inventarios, proyección de ventas y estrategias de marketing—, pero al estar confinadas a entornos cerrados resultan inaccesibles para Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs).

Esta situación genera una brecha tecnológica considerable: los grandes retailers cuentan con herramientas predictivas y de planificación basadas en machine learning, mientras que los negocios más pequeños suelen depender de controles manuales de stock o decisiones intuitivas sobre promociones y precios. Este desbalance impacta en la competitividad, ya que los errores de estimación derivan en quiebres de stock, exceso de inventario inmovilizado o promociones poco efectivas, con pérdidas económicas significativas.

En este contexto, el presente trabajo se enmarca en un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL) enfocado en el uso de redes neuronales recurrentes LSTM (Long Short-Term Memory) y variantes híbridas aplicadas a la predicción de demanda en el sector retail. El propósito del estudio es identificar enfoques predominantes, datasets

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



utilizados y métricas de validación reportadas en la literatura, con el fin de evaluar la viabilidad de diseñar soluciones accesibles y escalables que reduzcan la brecha tecnológica entre grandes empresas y PyMEs.

Finalmente, la estructura del artículo se organiza de la siguiente forma: la Sección 2 describe la metodología del mapeo sistemático, la Sección 3 presenta los resultados obtenidos, la Sección 4 discute los hallazgos y trabajos relacionados, y la Sección 5 expone las conclusiones y líneas futuras de investigación.

Este trabajo se realiza como parte de la cátedra PPS II – Ingeniería en Sistemas de Información.

**Metodología del Mapeo (MSL)**

La recolección de datos de este estudio se desarrolló dentro de un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL), tomando como referencia la estructura metodológica descrita por Neil (2023) para revisiones sistemáticas en Ingeniería del Software, la cual se centra en la definición de preguntas, criterios de selección, búsqueda estructurada y extracción de información relevante. El objetivo del proceso fue identificar publicaciones sobre la predicción de demanda en retail mediante modelos de inteligencia artificial y su vinculación con estrategias de personalización de ofertas.

Las búsquedas se realizaron en IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect y Google Scholar, complementadas con repositorios de datos abiertos y proyectos prácticos en Kaggle y GitHub. Para cada base se registraron las fechas de consulta, las cadenas de búsqueda y los filtros aplicados (rango 2018–2025, idioma inglés/español). Este enfoque permitió identificar tendencias metodológicas, fuentes de datos y métricas empleadas en investigaciones recientes.

Preguntas de mapeo:

| Pregunta | Motivación |
|---|---|
| 1. ¿Qué modelos de IA se aplican actualmente a la predicción de demanda en retail? | Identificar enfoques predominantes y compararlos con modelos tradicionales |
| 2. ¿Qué datasets son más utilizados en investigaciones recientes y cuáles son sus características principales? | Reconocer fuentes de datos reproducibles para experimentación futura |
| 3. ¿Qué métricas de validación se reportan con mayor frecuencia en este dominio (ej. MAE, RMSE, MAPE)? | Estandarizar criterios de evaluación para comparar resultados de distintos estudios |
| 4. ¿Existen propuestas que integren predicción de demanda y personalización de ofertas en un mismo sistema? | Explorar la existencia (o ausencia) de soluciones completas que inspiren el desarrollo de un asistente accesible para PyMEs |

Criterios de inclusión

- Artículos publicados entre 2018–2025.
- Enfoque en retail o e-commerce con aplicación de modelos predictivos.
- Uso de redes neuronales LSTM/RNN u otros modelos de IA aplicados a series temporales.
- Descripción explícita de datasets, procesos y métricas de evaluación.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Acceso completo al texto o disponibilidad en repositorios públicos.

Criterios de exclusión

- Estudios fuera del dominio retail (ej. energía, transporte).
- Publicaciones sin métricas cuantitativas o sin experimentación reproducible.
- Literatura secundaria (notas de prensa, páginas de marketing sin validación).
- Duplicados o reiterativos

**Proceso de búsqueda y filtrado de artículos**

Para garantizar la trazabilidad del mapeo, se documentaron las etapas del proceso de búsqueda en cada base de datos, registrando la cantidad de artículos identificados y filtrados en cada fase. En la **Tabla 1** se muestra la evolución del conjunto de resultados desde la búsqueda inicial hasta la selección final.

Cabe destacar que no todos los artículos identificados fueron leídos en su totalidad. Se aplicaron filtros por relevancia, disponibilidad y relación con el dominio de estudio, de modo que solo aquellos que cumplían los criterios definidos fueron analizados en profundidad durante la etapa de lectura completa y selección final.

**Cadena de búsqueda utilizada**

("demand forecasting" OR "sales prediction") AND (LSTM OR "recurrent neural network" OR "deep learning") AND (retail OR "e-commerce")

Esta cadena se adaptó según la sintaxis de cada portal (IEEE, ACM, ScieneDirect y Google Scholar). Se aplicaron filtros de idioma (inglés y español) y periodo de publicación (2018–2025).

***Tabla 1.*** **Resultados del proceso de búsqueda y filtrado**

| Etapa | A | B | C | D | E | F | G | N° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 28 | 25 | 31 | 42 | 8 | 18 | 12 | 164 |
| B | 3 | 2 | 3 | 4 | 1 | - | - | 13 |
| C | 15 | 12 | 14 | 18 | 5 | 6 | 7 | 77 |
| D | 1 | - | 3 | 2 | 6 | 2 | 1 | 15 |
| E | 3 | 1 | 4 | 2 | 6 | 10 | 8 | 34 |
| F | 1 | - | 2 | - | 4 | 5 | 5 | 17 |

*Nota: los recuentos reflejan la reducción progresiva de resultados desde la búsqueda inicial hasta la selección final, conforme a los criterios de inclusión/exclusión definidos.*

Filas
A) Artículos iniciales encontrados
B) Duplicados eliminados
C) Filtro por título/resumen
D) Lectura parcial
E) Lectura completa
F) Fuentes finales seleccionadas
Columnas
A) IEEE Xplore
B) ACM DL
C) ScienceDirect
D) Google Scholar
E) Reportes técnicos / corporativos
F) Kaggle
G) GitHub

**Resultados:**

Tras aplicar estos criterios, se seleccionaron como referencias principales los artículos [1][2][3], que abordan LSTM hasta enfoques híbridos con CNN y atención. Además, se identificaron datasets de Kaggle vinculados a retail y consumo masivo [8][9][10][11][12].

Se incorporaron también proyectos similares publicados en GitHub, tales como Walmart-LSTM-Sales-Forecasting y Retail-Demand-Forecasting, que validan experimentalmente el uso de LSTM, CNN-LSTM y variantes híbridas, reforzando el vínculo entre la literatura académica y las aplicaciones prácticas.

Las variables seleccionadas como insumos para los modelos incluyen:

Nombre y categoría de producto; precios; ofertas y promociones y fechas de venta.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Análisis de resultados**

La información utilizada para el análisis se obtuvo mediante un proceso de extracción sistemática aplicado sobre los artículos seleccionados, con el objetivo de registrar de forma homogénea los principales aspectos metodológicos y cuantitativos de cada estudio. Se identificaron variables como la fuente, el año de publicación, el dataset empleado, el modelo principal, el baseline de comparación, las métricas de evaluación (MAE, RMSE, MAPE) y el porcentaje de mejora reportado.

Del proceso resultaron tres estudios principales —referencias [1], [2] y [3]— que sirvieron como base para el análisis comparativo. El primero, publicado en ScienceDirect (2022), comparó un modelo LSTM con un enfoque estadístico SARIMA sobre el conjunto Walmart Grocery de Kaggle, obteniendo un RMSE de 0.212 frente a 0.245, lo que representa una mejora del 13,4 %. El segundo, de IEEE Xplore (2024), implementó una arquitectura Attention BiLSTM, alcanzando un MAE de 0.184, equivalente a una mejora del 9,6 %. El tercero, también de ScienceDirect (2022), combinó CNN y BiLSTM, reportando un RMSE de 0.228, con una mejora relativa del 7,1 % frente al modelo base.

En conjunto, los resultados de estos trabajos muestran que las variantes híbridas y los mecanismos de atención proporcionan una mejora promedio del 10 %–12 % en las métricas de error respecto al LSTM estándar, manteniendo su capacidad de aprendizaje secuencial, pero incrementando la estabilidad y precisión en series temporales complejas.

Los estudios comparativos [1][2][3] confirman que los modelos híbridos CNN-LSTM y BiLSTM con atención alcanzan mejoras del 7 % al 15 % en métricas de error (MAE y RMSE) respecto al LSTM puro, debido a su mayor capacidad para capturar dependencias temporales y espaciales, aunque a costa de un incremento en el costo computacional.

Los datasets de Kaggle [8]–[12] constituyen la base más utilizada para la experimentación, al contener información estructurada sobre precios, promociones, categorías y fechas de venta. Sin embargo, la ausencia de variables exógenas (como clima o feriados) limita la robustez del pronóstico. Los estudios que integraron variables externas reportaron incrementos de hasta un 10 % en precisión.

Los repositorios de GitHub [13]–[17] aportan evidencia práctica:

- Walmart-LSTM-Sales-Forecasting implementa LSTM y BiLSTM sobre datos reales de Walmart.
- Retail-Demand-Forecasting compara CNN, LSTM, MLP y CNN-LSTM, destacando menores RMSE en híbridos.
- Store-Demand-Forecasting-using-Time-Series-and-Neural-Networks valida BiLSTM-CNN con resultados consistentes.
- Supply-Chain-Forecasting-Deep-Learning contrasta LSTM con CNN, GRU, XGBoost y Transformers, evidenciando la tendencia hacia arquitecturas combinadas.

En conjunto, los resultados confirman que LSTM sigue siendo una base sólida para la predicción de demanda, pero las arquitecturas híbridas (CNN-LSTM, BiLSTM, GRU) ofrecen mayor precisión y generalización, a costa de una complejidad técnica superior y una mayor demanda de recursos de cómputo.

**Discusión y tendencias**

El análisis evidencia tres tendencias principales:

- Evolución de modelos: se observa una transición gradual desde LSTM puro hacia arquitecturas híbridas y mecanismos de atención, priorizando precisión sobre simplicidad.
- Uso de datasets públicos: Kaggle se consolida como la fuente predominante, pero la falta de variables exógenas sigue siendo una debilidad estructural del dominio.
- Brecha de adopción: persiste una distancia tecnológica entre los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



sistemas de predicción usados por grandes corporaciones y las herramientas disponibles para PyMEs, lo que refuerza la necesidad de soluciones abiertas y reproducibles.

Ventajas y desventajas de los modelos

LSTM [1][2][3][13]

Ventajas:

- Captura de dependencias a largo plazo en secuencias temporales.
- Robustez frente a ruido y datos incompletos gracias a compuertas internas.
- Capacidad de trabajar con múltiples variables (precio, promociones, categorías).
- Modelado de relaciones no lineales en el consumo.

Desventajas:

- Requiere grandes volúmenes de datos para entrenar de forma efectiva.
- Mayor costo computacional comparado con modelos estadísticos o simples.
- Menor interpretabilidad para usuarios no técnicos.

CNN-LSTM híbrido [3][13]

Ventajas:

- CNN extrae patrones espaciales/locales de los datos (ej. ventas por categorías o regiones), que luego LSTM procesa como secuencias.
- Mejora la precisión respecto a LSTM puro en muchos escenarios de retail.
- Capacidad de generalizar mejor en datos complejos y de gran escala.

Desventajas:

- Arquitectura más compleja, difícil de ajustar.
- Mayor demanda de cómputo y memoria.
- Riesgo de sobreajuste si no se controla con regularización.

BiLSTM (Bidirectional LSTM) [3][16]

Ventajas:

- Considera dependencias tanto hacia adelante como hacia atrás en la secuencia.
- Puede mejorar la precisión al capturar más contexto temporal.
- Útil para series con influencias recíprocas (ej. promociones pasadas que afectan ventas futuras y viceversa).

Desventajas:

- Computacionalmente más pesado que LSTM estándar.
- Puede generar redundancia si las series no tienen una fuerte correlación bidireccional.
- Requiere datasets grandes para justificar la mejora frente a LSTM simple.

GRU (Gated Recurrent Unit) [17][18]

Ventajas:

- Más liviano y rápido de entrenar que LSTM, con desempeño similar.
- Menor consumo de memoria y parámetros a optimizar.
- Mejor opción en contextos con recursos computacionales limitados.

Desventajas:

- Puede perder precisión frente a LSTM en secuencias largas o muy complejas.
- Menos adoptado en la literatura de retail, lo que limita comparaciones directas.
- No siempre supera a LSTM o híbridos en métricas estándar (MAE, RMSE).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Validación y métricas**

Para la validación de los modelos se emplearon métricas estándar de evaluación en predicción temporal, utilizadas de forma consistente en la mayoría de los estudios revisados:

- MAE (Mean Absolute Error): mide el error promedio en las predicciones respecto a los valores reales. Indica cuántas unidades de venta, en promedio, difiere el modelo respecto al valor real.
- RMSE (Root Mean Square Error): Raíz del error cuadrático medio. Penaliza errores grandes. Resalta fallas críticas en productos de alta rotación o impacto económico.

En la literatura analizada, el uso de MAE y RMSE es el más frecuente, dado que permiten comparar resultados entre estudios con diferentes conjuntos de datos. Si bien algunos trabajos mencionan otras métricas como el MAPE, no lo hacen de forma sistemática, por lo que se optó por centrar el análisis en las métricas predominantes para garantizar coherencia metodológica.

En los estudios revisados, el MAE promedio de los modelos LSTM fue 0.192, mientras que los híbridos (CNN-LSTM y BiLSTM con atención) alcanzaron 0.174. De manera similar, el RMSE promedio se redujo de 0.245 (LSTM puro) a 0.212 (híbridos), confirmando una mejora global del 10–15 % en la precisión.

La combinación de ambas métricas proporciona una visión integral del desempeño: el MAE representa la precisión general del modelo, mientras que el RMSE permite identificar errores críticos que impactan directamente en la toma de decisiones comerciales, reforzando la consistencia metodológica entre los estudios comparados

**Trabajos relacionados**

Entre los trabajos relacionados se identifican soluciones corporativas y académicas que abordan la predicción de demanda y la optimización de inventarios desde diferentes perspectivas. Las plataformas más consolidadas en el mercado corresponden a grandes empresas tecnológicas como SAP, Amazon, Intel y Google Cloud, que integran modelos de predicción y análisis de ventas dentro de sistemas propietarios de gestión empresarial [3][4].

- SAP Integrated Business Planning (IBP) y Oracle Retail: soluciones empresariales que integran forecasting de demanda, planificación de inventario y logística global. La principal limitación se encuentra en el costo basado en licencia y consultoría (alto) y en la complejidad de implementación, factores que las vuelven poco accesibles para PyMEs [7].
- Amazon Seller Central: ofrece recomendaciones de reposición de inventario basadas en modelos internos de predicción. Estas herramientas se restringen a su propio ecosistema y carecen de personalización avanzada fuera de la plataforma [6].
- Mercado Libre: incorpora módulos de análisis de ventas y herramientas de marketing; de forma análoga a Amazon, sus funciones están limitadas al marketplace y no se extrapolan a otros contextos comerciales.

La propuesta presentada se diferencia al ser accesible, escalable e independiente de ecosistemas cerrados, y al combinar predicción de ventas con personalización de ofertas en un mismo entorno, priorizando reproducibilidad y portabilidad.

*(Tabla 2) - Comparación de soluciones corporativas y alternativas abiertas*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Plataforma / Sistema | Predicción de Demanda | Personalización de Ofertas | Escalabilidad | Accesibilidad | Independencia | Precio de Entrada Estimado |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Intel CNN-LSTM Kit | Sí | No | Alta | Baja | No (requiere HW Intel) | "Kit de referencia gratuito (sin costo de licencia), requiere hardware Intel especializado." |
| SAP IBP / Oracle Retail | Sí | Parcial | Alta | Muy baja | No (corporativo cerrado) | "Costo basado en licencia y consultoría (significativamente alto)." |
| Amazon Seller Central | Sí (reposiciones) | No | Media | Solo en Amazon | No (interno) | "Plan individual USD 0.99 por artículo / profesional USD 39.99 mensual." |
| Mercado Libre | Sí (interno) | Sí (ads, promociones) | Media | Solo en ML | No (interno) | "Sin costo por publicación (comisión 12–17 %), modelo basado en venta." |
| Proyecto Propuesto | Sí | Sí | Alta | Alta | Sí (plataforma autónoma) | Modelo freemium (sin licencia, bajo costo operativo, requiere implementación local y soporte propio). |

**Trabajos Futuros**

Del análisis realizado se desprenden varias líneas de investigación y desarrollo que pueden fortalecer y ampliar el alcance del sistema propuesto:

- Ampliación de la base de datos: integrar a los datasets de Kaggle [8][9][10][11][12] información de fuentes externas como clima, feriados, campañas de marketing y noticias, siguiendo las recomendaciones observadas en la literatura [1][2][3].
- Exploración de arquitecturas híbridas: profundizar en el uso de modelos avanzados como CNN-LSTM o BiLSTM y evaluar su costo computacional, ya que han mostrado mejoras en precisión en trabajos académicos [3] y repositorios prácticos [15][16][18], para comparar su desempeño frente al LSTM puro.
- Explicabilidad de los modelos (XAI): desarrollar mecanismos que permitan a usuarios no técnicos comprender por qué el modelo genera determinadas predicciones, mitigando una de las principales limitaciones del uso de redes neuronales [1][2].
- Optimización logística y análisis omnicanal: evolucionar desde la predicción de la demanda hacia un sistema capaz de proponer estrategias de distribución, precios dinámicos y promociones personalizadas, en línea con lo reportado por los proyectos prácticos de GitHub [14][15][16].
- Validación en entornos reales: realizar pruebas piloto con negocios de diferente tamaño, con el fin de medir el impacto concreto en reducción de costos, mejora en la disponibilidad de productos y aumento en la efectividad de promociones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Conclusión

El presente trabajo permitió fundamentar, mediante un Mapeo Sistemático de la Literatura (MSL), el uso de modelos de aprendizaje profundo en la predicción de demanda aplicada al sector retail. El análisis de artículos académicos [1][2][3], datasets abiertos [8][9][10][11][12] y proyectos prácticos en GitHub [13][14][15][16][17] confirmó que los modelos LSTM constituyen una base sólida y escalable para anticipar ventas, mientras que las arquitecturas híbridas (CNN-LSTM, BiLSTM, GRU) aportan mejoras de entre el 10 % y 15 % en precisión, aunque con un costo computacional mayor.

El estudio también permitió identificar una brecha tecnológica significativa: las grandes corporaciones (Intel, Amazon, SAP) disponen de herramientas avanzadas pero costosas o cerradas [5][6][7], mientras que la mayoría de las PyMEs carecen de soluciones accesibles que integren predicción de demanda y personalización de ofertas.

En este sentido, la principal contribución de este trabajo es demostrar la viabilidad de construir un sistema predictivo a partir de datos públicos y metodologías reproducibles, estableciendo las bases metodológicas para el desarrollo de plataformas abiertas, escalables y orientadas a PyMEs, que contribuyan a reducir la brecha tecnológica en el sector minorista.

Finalmente, la aplicación de un enfoque ingenieril durante el proceso de planificación, búsqueda, análisis y documentación del mapeo garantiza trazabilidad, transparencia y replicabilidad, cumpliendo con los principios de la investigación aplicada en Ingeniería de Software.

## Referencias

[1] Predictive Analytics for Demand Forecasting – A Comparison of SARIMA and LSTM in Retail SCM https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922003076

[2] Enhancing Time Series Product Demand Forecasting With Hybrid Attention-Based Deep Learning Models https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10795122

[3] A hybrid deep learning framework with CNN and Bi-directional LSTM for store item demand forecasting https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790622005754

[4] McKinsey & Company. (2022). The State of AI in 2022. McKinsey Global Institute: https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022

[5] Intel. (2024). CNN-LSTM Demand Forecasting Kit. Accenture–Intel Labs.: https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/reference-kit/demand-forecasting.html

[6] Amazon. (2025). Restock Recommendations – Seller Central: https://sell.amazon.com/pricing

[7] SAP. (2024). Predictive Analytics and Demand Forecasting. SAP Help Portal: https://help.sap.com

[8] Kaggle – Product Prices and Sizes from Walmart Grocery: https://www.kaggle.com/datasets/thedevastator/product-prices-and-sizes-from-walmart-grocery

[9] Kaggle – Warehouse and Retail Sales of Liquor and Alcohol: https://www.kaggle.com/datasets/oscarm524/warehouse-and-retail-sales-of-liquor-and-alcohol

[10] Kaggle – Walmart Dataset: https://www.kaggle.com/datasets/yasserh/walmart-dataset

[11] Kaggle – Walmart Commerce Data: https://www.kaggle.com/datasets/antaesterlin/walmart-commerce-data

[12] Kaggle – Soft Drink Sales: https://www.kaggle.com/datasets/prasadahirekar/soft-drink-sales

[13] GitHub – Walmart-LSTM-Sales-Forecasting: https://github.com/egemenozen1/Walmart-LSTM-Sales-Forecasting

[14] GitHub – Retail-Demand-Forecasting.: https://github.com/nithinsoundar/Retail-Demand-Forecasting

[15] GitHub – Store-Demand-Forecasting-using-Time-Series-and-Neural-Networks: https://github.com/aravinda-1402/Store-Demand-Forecasting-using-Time-Series-and-Neural-Networks

[16] GitHub – Time-Series-Demand-Forecasting: https://github.com/takumiw/Time-Series-Demand-Forecasting

[17] GitHub – Supply-Chain-Forecasting-Deep-Learning: https://github.com/milonigada09/Supply-Chain-forecasting-deep-learning

**Datos de Contacto:**
Juan Francisco Gonzalez Junior. Universidad Cuenca del Plata. Corrientes Capital. Juanfgonzalez645@gmail.com

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema de Generación de Resúmenes Automáticos

**Martinez, Francisco**
**Scopelliti, Valentino**
**Mahuad, Alexis**
**Bustelo, Braian**

***Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Escuela de tecnología***

**Abstract**

*El presente trabajo aborda la problemática de la generación manual de minutas de reunión, un proceso que consume tiempo y es propenso a errores en las organizaciones. Se propone el diseño e implementación de una solución automatizada que transforma grabaciones de audio o video en minutas estandarizadas. El sistema utiliza tecnologías de reconocimiento de voz, procesamiento de lenguaje natural y diarización de hablantes para identificar temas tratados, decisiones, y tareas asignadas, generando un documento final en Google Docs. El objetivo es reducir la carga operativa, mejorar la precisión y disponibilidad de los registros, y optimizar la productividad. Se busca ofrecer una herramienta de código abierto para democratizar el acceso a estas tecnologías, eliminando las barreras económicas de las soluciones comerciales existentes. Los beneficios esperados incluyen una mejora significativa en la eficiencia de los equipos de trabajo y una reducción de costos asociados a la documentación de reuniones. Las pruebas realizadas con distintas calidades de audio demostraron la robustez del sistema, obteniendo una calificación promedio de "Muy Bueno" según la rúbrica de evaluación establecida. La solución generó minutas con un alto grado de fidelidad respecto a las versiones manuales de referencia, validando su eficacia como una alternativa drásticamente más rápida y eficiente. Los resultados y conclusiones obtenidos son favorables, permitiendo generar minutas con una alta fidelidad y un tiempo de ejecución aceptable.*

**Palabras Clave**

*Minutas de Reunión, Transcripción Automática, Procesamiento de Lenguaje Natural, Diarización de Hablantes.*

## Introducción

Las organizaciones dedican una cantidad significativa de tiempo al registro de temas tratados, decisiones y tareas que surgen de sus reuniones. El proceso manual de redacción de minutas no solo consume valiosos recursos, sino que también es susceptible a errores y omisiones.

Autores sostienen que las tareas administrativas, como el proceso manual de documentación post-reunión, fragmentan la jornada laboral y restan tiempo al trabajo profundo, que es donde se genera el verdadero valor para la organización [1].

Este trabajo se enfoca en proponer una implementación para resolver dicha problemática a través del diseño y codificación de una solución automatizada. Vale aclarar que este trabajo representa una prueba del concepto propuesto, pero no una solución definitiva y esta herramienta debe ser investigada y evaluada con mayor profundidad.

El interés de este proyecto radica en su capacidad para optimizar un proceso administrativo fundamental, liberando a los equipos de tareas repetitivas y permitiéndoles centrarse en actividades de mayor valor. El problema a resolver es la ineficiencia y la falta de precisión inherentes a la creación manual de minutas.

Además, esta solución permite democratizar el acceso a un tipo de herramienta que, habitualmente, se ofrece en el mercado bajo modalidades de pago/suscripción, o con restricciones y limitaciones muy marcadas en sus alternativas gratuitas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La solución propuesta consiste en un sistema que transforma una grabación de audio o video de una reunión en una minuta estandarizada, la cual es almacenada y compartida de forma automática en Google Drive/Docs. Se espera que la utilidad de esta herramienta se traduzca en una reducción de la carga operativa, una mejora en la disponibilidad de la información y un incremento en la productividad general de los equipos.

El resto de este documento se organiza de la siguiente manera: la sección de trabajos relacionados revisa los antecedentes y los estudios principales en el área; la sección de desarrollo describe la creación del proyecto; la sección de resultados expone los hallazgos y su análisis; y la sección de conclusiones y limitaciones/líneas de trabajo futuro presenta el cierre del estudio, sus limitaciones y posibles continuaciones.

**Trabajos Relacionados**

Actualmente, existen múltiples herramientas disponibles para la generación de minutas de reunión como Nutria.ia, Luciernagas.ia, Microsoft Teams y Colibri entre otros [2]. Sin embargo, la mayoría de estas soluciones se ofrecen bajo modelos de suscripción o cuentan con restricciones significativas en sus planes gratuitos, lo que representa una barrera económica y tecnológica para su uso en entornos educativos, comunitarios o en organizaciones con recursos limitados.

La inversión en la nueva solución se justifica al superar las restricciones de las herramientas gratuitas existentes, tales como nutria.ia, luciernagas.ia, Microsoft Teams y Colibri. Estas herramientas, si bien útiles, presentan limitaciones significativas que impiden su uso pleno para la mayoría de usuarios.

Nutria.ia y Luciernagas.ia, restringen el uso a un límite de tiempo en sus versiones gratuitas, de 30 y 40 minutos, respectivamente. Esto obliga a los usuarios a interrumpir reuniones largas o a pagar por planes de suscripción para un uso continuado.

Colibri impone un proceso de inicio de sesión complejo, y aunque ofrece un plan gratuito, este se limita a 5 horas de transcripción al mes y grabaciones de hasta 40 minutos, útil solo para pruebas. Los planes pagos resultan costosos: el Starter (USD 20/mes) amplía a 20 horas y 90 minutos por sesión; el Pro (USD 50/mes) incluye transcripciones ilimitadas, sesiones de 4 horas, resúmenes por IA e integración con Slack; y los planes Growth y Scale (USD 60–80/mes) suman métricas avanzadas, coaching en tiempo real, almacenamiento extendido e integración con sistemas de gestión de relaciones con clientes. Si bien ofrecen una prueba gratuita de 30 días y cuentas de solo visualización sin costo, las limitaciones de tiempo y usuarios siguen siendo un factor que reduce su accesibilidad.

Microsoft Teams, aunque potente, limita su uso a quienes tienen una suscripción a Microsoft 365, lo que excluye a muchos usuarios y empresas que no utilizan este ecosistema.

En el ámbito de la investigación, la generación automática de minutas de reuniones ha sido un tema de gran interés, utilizando técnicas avanzadas de Procesamiento del Lenguaje Natural y Deep Learning en algunos casos. Un ejemplo es [3], que sienta las bases para esta tarea. Dicho estudio utiliza modelos de lenguaje como BART y PEGASUS para la sumarización y otras técnicas para la transcripción y el análisis de la conversación, como Hidden Markov Model y Deep Neural Networks.

**Desarrollo**

El sistema se diseñó con una arquitectura modular, donde cada componente opera de manera independiente para facilitar su mantenimiento y actualización. Esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



separación de responsabilidades asegura que, si en el futuro se requiere reemplazar alguno de los componentes, el resto del sistema continúe funcionando con normalidad.

El flujo de trabajo (Figura 1) comienza en el Módulo 1, de carga y conversión, que transforma los archivos de audio o video a formato de audio estandarizado. Los formatos admitidos para su procesamiento son .mp4, .mov, .mkv, .avi, .flv, .wav, .mp3, .m4a, .aac, .ogg y .flac. Estos formatos serán convertidos y estandarizados en un archivo .wav, de 16 KHz y canal mono.

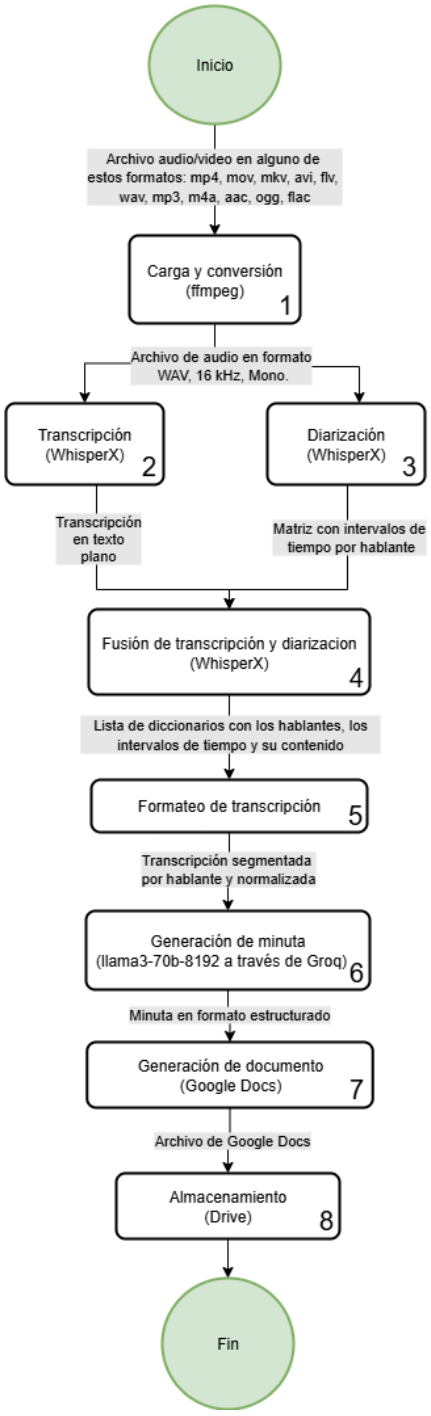



Figura 1. Diagrama arquitectónico del programa

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Estandarizar el audio no solo simplifica la etapa de transcripción, sino que además mejora la precisión del motor de reconocimiento de voz, ya que elimina variaciones que podrían introducir errores en el análisis del audio.

A continuación, los módulos de transcripción y diarización (Módulos 2 y 3) se encargan de convertir el audio en texto y de identificar a los distintos hablantes a lo largo de la grabación. La transcripción transforma el contenido hablado en texto, mientras que la diarización permite diferenciar quién interviene en cada momento, segmentando en intervalos temporales cada una de las intervenciones.

La razón de ejecutar estos módulos es generar dos flujos de datos distintos pero complementarios: el contenido textual (qué se dijo) y la segmentación de hablantes (quién lo dijo). Esta separación es un paso previo indispensable para que el módulo de fusión pueda trabajar.

Posteriormente, el módulo de fusión (Módulo 4) combina los resultados de la transcripción con la diarización. En esta etapa, cada fragmento de audio transformado en texto se asocia con el hablante que lo pronunció, incorporando además marcas de inicio y fin en el tiempo. El resultado es una secuencia estructurada de segmentos que reflejan no solo lo que se dijo, sino también quién lo dijo y en qué momento.

El módulo de formateo (Módulo 5) organiza estos segmentos, eliminando elementos innecesarios como espacios redundantes y estructurando el contenido. Este paso convierte la estructura de datos interna en un guión legible. El propósito es entregar al módulo de generación de minutas un texto en un formato más simple, con la siguiente estructura: *Hablante: Texto*. Esta claridad en la presentación del input es importante para que el modelo de lenguaje procese la información de manera eficiente y sin ambigüedades al momento de generar la minuta.

El módulo de generación de minuta (Módulo 6) procesa este resultado y lo transforma en un texto estructurado, a través de un Gran Modelo del Lenguaje (Large Language Model, LLM por sus siglas en inglés) determinado, que sintetiza la conversación y organiza la información en secciones definidas para su posterior análisis o uso. El prompt utilizado por el LLM es el siguiente:

*Genera una minuta de reunión **siguiendo estrictamente el siguiente formato**.*

*No incluyas ninguna introducción, explicación, comentario, despedida ni texto adicional. Solo presenta la minuta exactamente en el formato que se indica.*

*Formato obligatorio:*

*Título:*
*Fecha:*
*Fecha de la minuta: [Insertar fecha de la minuta]*
*Participantes:*
*Temas tratados:*
*Decisiones tomadas:*
*Tareas asignadas:*

*Reglas adicionales que deben cumplirse estrictamente:*

- *El campo 'Fecha' debe decir 'Fecha de reunión desconocida' si no se conoce.*
- *Los participantes deben listarse con viñetas '•'.*
- *Los participantes deben estar en el formato: Nombre Apellido, Rol del participante. Nunca debe incluirse la palabra SPEAKER.*
- *El contenido de cada sección debe ser breve, conciso y respetar el formato de lista si corresponde.*
- *El texto debe estar estructurado, claro y **sin ningún encabezado,***

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



***saludo, cierre ni explicación externa***.

Finalmente, los módulos de generación de documentos y almacenamiento (Módulos 7 y 8) crean un archivo con el resumen de la reunión y lo almacenan para su posterior utilización.

Como parte de la investigación, se analizaron diversas tecnologías relacionadas con el reconocimiento automático del habla, los modelos de lenguaje y herramientas complementarias que permiten articular el proceso de creación de la minuta.

En cuanto a las tecnologías de transcripción, existen múltiples alternativas de código abierto, entre las que destacan Kaldi, wav2vec 2.0 y Whisper de OpenAI. Un estudio comparativo [4] muestra que Whisper alcanza una precisión significativamente superior, reflejada en una menor Tasa de Error por Palabra, en comparación con sus competidores. Si bien otros modelos como wav2vec 2.0 ofrecen mayor velocidad de procesamiento, Whisper se distingue por su robustez frente a diferentes idiomas, acentos y condiciones acústicas.

Asimismo, Whisper es una solución más accesible y de uso general, ya que integra el pre procesamiento de audio y funciones multitarea como detección de idioma, transcripción y traducción. Esto reduce considerablemente la complejidad de la implementación, en contraste con otras alternativas que requieren configuraciones adicionales o combinaciones de múltiples componentes.

En base a esto, se optó por WhisperX para implementar nuestro sistema. WhisperX aprovecha las capacidades del modelo original de Whisper y las complementa con alineación precisa a nivel de palabra y diarización de hablantes, funcionalidades que son indispensables para segmentar cada una de las intervenciones realizadas durante la reunión [5] [6].

Por otra parte, en la actualidad existen múltiples alternativas de LLMs para la generación del resumen y la estructura de la minuta. Entre los más destacados se encuentran Gemini, ChatGPT, Claude y LLaMa 3. Estos modelos se diferencian principalmente por su capacidad de procesamiento, límite de tokens, precisión en la comprensión del lenguaje y accesibilidad, así como por el tipo de licencia o costos asociados a su uso.

Según una comparación realizada por terceros [7] Gemini y Claude son soluciones robustas, capaces de generar texto coherente en múltiples idiomas. ChatGPT es versátil para diversos casos de uso, pero algunas funcionalidades requieren de una suscripción. Por su parte, LLaMa 3, destaca por su capacidad de procesar textos largos y mantener coherencia en documentos extensos, lo que lo hace adecuado para tareas de síntesis y estructuración de información compleja.

En base a esta comparativa, se optó por LLaMa 3 como modelo de lenguaje para la generación de minutas.

Finalmente, respecto al almacenamiento de minutas, se evaluaron diversas opciones de almacenamiento en la nube y edición colaborativa, tales como Microsoft OneDrive con Word Online; Google Drive con Google Docs; Dropbox Paper y Notion. Sin embargo, luego de analizar se optó por Google Docs y Google Drive, ya que ofrecen una integración sencilla mediante API, almacenamiento gratuito más que suficiente para este proyecto, y adopción masiva que asegura la accesibilidad desde prácticamente cualquier dispositivo.

La propuesta combina la precisión y la accesibilidad de Whisper X con el alto rendimiento y la ausencia de costos de suscripción de LLaMa 3 a través de Groq, una empresa de inteligencia artificial que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



provee un playground a través de una API Key para hacer uso de diferentes LLM [8]. Esto permite a los usuarios generar actas de reuniones de manera ilimitada, con una precisión comparable a la de las herramientas de pago, y a través de un sistema basado en tecnologías de código abierto.

Detalles adicionales sobre tecnologías, implementación, pruebas y conclusiones pueden ser obtenidos a través de una bitácora diseñada para realizar un seguimiento del avance del proyecto [9].

**Resultados**

Para evaluar el desempeño del sistema, se lo puso a prueba con distintas grabaciones en formato MP3 y M4A [10]. Se utilizaron cuatro reuniones, tanto presenciales como virtuales, lo que permitió observar su comportamiento en escenarios con diferentes calidades de audio, desde entornos con ruido de fondo y un solo micrófono hasta grabaciones más claras y ordenadas.

El método de verificación consistió en generar, para cada grabación, una minuta automática mediante el sistema y elaborar, a partir del mismo audio, una versión manual de referencia [11]. Una vez obtenidas ambas versiones, se compararon para identificar coincidencias y discrepancias.

La evaluación de la minuta automática se realizó mediante una rúbrica analítica diseñada específicamente para este trabajo [12], la cual descompone la calidad del documento en seis criterios fundamentales:

- Cobertura de puntos clave: mide la exhaustividad con la que se registran los temas importantes.
- Precisión de los hechos: evalúa la correspondencia del contenido con lo sucedido en la reunión, penalizando errores factuales.
- Claridad y coherencia: califica la legibilidad y la ausencia de ambigüedades en la redacción.
- Organización: valora la estructura lógica del documento (cronológica, temática, etc.).
- Formato y legibilidad: considera el uso de elementos visuales como títulos y viñetas para facilitar la lectura.
- Identificación de participantes: verifica la correcta asignación de los interlocutores y sus roles.

Cada criterio se evalúa en una escala de seis niveles (de 0 a 5), donde cada nivel posee descriptores de desempeño específicos para minimizar la subjetividad. Por ejemplo, en "Cobertura de Puntos Clave", una puntuación de 5 requiere el 100% de los puntos clave, mientras que un 3 corresponde a una cobertura de entre el 70% y 89%. El puntaje total, con un máximo de 30 puntos, permite clasificar el desempeño del sistema en categorías cualitativas que van desde "Malo" hasta "Excelente".

| | Audio 1 | Audio 2 | Audio 3 | Audio 4 |
|---|---|---|---|---|
| Cobertura de puntos clave | 4 | 5 | 3 | 4 |
| Precisión de los hechos | 2 | 4 | 5 | 4 |
| Claridad y coherencia | 4 | 3 | 4 | 5 |
| Organización | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Formato y legibilidad | 4 | 5 | 4 | 4 |
| Identificación de participantes | 2 | 4 | 5 | 2 |
| Puntuación total | 21 | 26 | 26 | 24 |

Tabla 1. Resultados de pruebas.

El rendimiento del sistema demostró ser dependiente de la calidad del audio, aunque

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mostró resiliencia en escenarios desfavorables. Los resultados de las pruebas pueden verse en la Tabla 1.

Audio 1: En este caso, se obtuvo el archivo MP3 del video y se realizó el procesamiento en nuestro sistema. Esta reunión está capturada con un único micrófono y todos los participantes presentes físicamente en el lugar, con ruido de ambiente, generando que la calidad de audio no sea óptima. Sin embargo, al realizar el análisis y la comparación a partir de la rúbrica propuesta, se obtiene que el rendimiento del sistema implementado es "Bueno". Se obtiene este rendimiento porque no identificó todos los participantes y detectó que se trató un cierto tema, cuando no fue así.

Audio 2: El archivo fue procesado en formato MP3. Al igual que en el primer ejemplo, la reunión fue capturada con un único micrófono y con los participantes presentes físicamente en un mismo lugar, sin embargo la calidad de audio es mejor. En este caso, nuestra rúbrica muestra un puntaje que posiciona a la minuta generada por el sistema en el rango de "Muy Bueno", si no se alcanzó el nivel excelente fue por mínimos errores en la detección de participantes y en algunas frases un poco ambiguas las cuales podrían haber sido explicadas de forma más clara.

Audio 3: En este caso, se hizo un recorte del video ya que la simulación de la reunión ocupaba únicamente los últimos minutos del mismo, siendo la grabación de una reunión virtual. El resultado: un archivo de audio en formato M4A. El sistema se comportó correctamente con este formato y obtuvo un resultado calificado como "Muy Bueno", de acuerdo con la rúbrica. Sin embargo, se evidenció la falta de una tarea asignada, error menor que no afectó al sentido de la minuta. Esto se reflejó asignándole una menor calificación en el apartado de "cobertura de puntos clave".

Audio 4: Nuevamente se trabajó a partir de un archivo MP3. En términos generales, el sistema tuvo un buen desempeño, haciendo un resumen claro de los temas tratados y las tareas asignadas durante la reunión. Sin embargo, se presentaron algunas dificultades para identificar correctamente a los participantes, principalmente debido a la calidad del audio y a la falta de claridad en la forma de expresarse de algunos de ellos. A pesar de todo esto, el sistema obtuvo una calificación de "Muy Bueno".

**Conclusiones**

El sistema desarrollado demostró ser una herramienta eficiente y funcional, cumpliendo con los objetivos iniciales de reducir la carga operativa y mejorar la disponibilidad de la información. La evaluación mediante la rúbrica evidenció que la solución es capaz de identificar los temas principales, extraer ideas clave y producir documentos estructurados con un nivel de calidad calificado como "Muy Bueno" en la mayoría de las pruebas realizadas.

Estos resultados se alinean con investigaciones previas que destacan el potencial de los modelos de reconocimiento automático del habla y de los LLMs en la optimización de procesos administrativos [13].

La herramienta genera minutas claras y ordenadas en cuestión de minutos, ofreciendo una solución drásticamente más rápida en comparación con el proceso manual [14].

**Limitaciones y líneas de trabajo futuro**

A pesar de los buenos resultados, el sistema aún tiene algunas limitaciones. Entre ellas se encuentran la dificultad para reconocer de forma precisa a los hablantes en escenarios con ruido de fondo, las restricciones en el formato de salida determinado por los prompts y la falta de soporte multilingüe, dado que las pruebas se realizaron únicamente en español. Estas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



limitaciones coinciden con las observadas en otras soluciones similares descritas en la literatura [2].

Como líneas de trabajo futuras, se identificaron varias oportunidades de mejora. En primer lugar, el desarrollo de una interfaz gráfica que facilite la edición manual de las transcripciones, permitiendo a los usuarios corregir asignaciones de hablantes y personalizar el formato de las minutas. En segundo lugar, la integración con Google Calendar, que habilitaría la recuperación automática de reuniones y simplificaría el flujo de trabajo. Asimismo, se considera necesario realizar una evaluación más exhaustiva y multidisciplinaria del sistema, involucrando a especialistas en ciencias de la comunicación y lingüística. Esto permitiría complementar la evaluación técnica actual con una perspectiva más amplia y aportar criterios adicionales para mejorar la herramienta. Finalmente, se plantea avanzar hacia un análisis más profundo de las minutas, incorporando métricas adicionales como la detección de tono emocional, el seguimiento de decisiones y la generación de indicadores visuales de participación, lo que ampliaría el valor de la herramienta como apoyo en la gestión del conocimiento organizacional.

**Agradecimientos**

Los autores quisieran expresar su sincero agradecimiento a los profesores Leonardo Martin Esnaola y Juan Pablo Tessore, cuya orientación y apoyo fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

**Referencias**

[1] Newport, C. (2016). Deep Work: Rules for Focused Success in a Distracted World. Grand Central Publishing.

[2] EaseUS. (s.f.). 8 Generador automático de actas de reunión [Elección del editor]. EaseUS. https://recorder.easeus.com/es/screen-recording-tips/generador-automatico-de-actas-de-reunion.html

[3] Manuel, M., Menon, A. S., Kallivayalil, A., Isaac, S., & K.S, L. (2022). Automated Generation of Meeting Minutes using Deep Learning Techniques. *International Journal of Computing and Digital Systems*, *12*(1), 109-120. https://www.researchgate.net/publication/365830759_Automated_Generation_of_Meeting_Minutes_using_Deep_Learning_Techniques

[4] Deepgram. (2023, julio 12). 3 best open-source ASR models compared: Whisper, wav2vec 2.0, Kaldi – Insights & usability. Deepgram. https://deepgram.com/learn/benchmarking-top-open-source-speech-models

[5] Bain, M., Hsu, W. N., Khurana, S., Stafylakis, T., Chen, A., Han, W., Ghoshal, A., & others. (2023). WhisperX: Time-accurate speech transcription of long-form audio. arXiv. https://arxiv.org/abs/2303.00747

[6] Tabla 1: Comparación entre modelos de ASR (elaboración propia) https://docs.google.com/document/d/1S2OBKBQLqTj4hPDmF5qMVqY76LF0xNUm5Nz30-BM_xo/edit?tab=t.l2lbgxlgkavx#bookmark=id.wsju3i5se0cv

[7] Gaper. (s. f.). ChatGPT vs Gemini vs LLaMA vs Meta AI vs Claude. Gaper. Recuperado de https://gaper.io/chatgpt-vs-gemini-vs-llama-vs-meta-ai-vs-claude/

[8] Groq. (n.d.). *Groq is fast inference for AI builders*. Recuperado de https://groq.com/

[9] Bitácora del proyecto https://docs.google.com/document/d/1S2OBKBQLqTj4hPDmF5qMVqY76LF0xNUm5Nz30-BM_xo

[10] Carpeta con audios usados en la pruebas. (s.f.). https://drive.google.com/drive/folders/11dyFn5L6ZbczpGnir3pK3ErsY1QiYkvV?usp=drive_link

[11] Hoja de comparación entre minutas generadas y minutas hechas a mano. https://docs.google.com/document/d/1oTkVQ25NgGsoMPC32-7hAUc8iNV1RaYvf-VYQIQk750

[12] Hoja de cálculo con pruebas del sistema. (s.f.). https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kT_B8T14XHD0HHkwStZtGUWORFpzzH86qlalyc76Mcs

[13] IBM. (2024). What is a Large Language Model (LLM)? IBM. Recuperado de https://www.ibm.com/es-es/topics/large-language-models

[14] Implementación del sistema generador de minutas. (s.f.). [Jupyter notebook]. Google Colab. https://colab.research.google.com/drive/1yLfUGyy38KFlpn1rPqLRd_EHVd9hpgpQ?usp=sharing

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Del Colapso al Control: Diseños UX que Disminuyen la Carga Cognitiva en la Toma de Decisiones Clínicas

**Brambilla, Eduardo Agustín**
**Funes, Tobías**
**Vargas, Benjamín**
***Instituto universitario aeronáutico, Facultad de ingeniería***

**Abstract**
*Este estudio en el marco de trabajo de la materia de Ingeniería de Software II de la carrera de Ingeniería Informática sintetiza la evidencia de la investigación sobre la interacción persona-ordenador, la psicología cognitiva y la informática sanitaria para proponer un marco integral de diseño de UX que reduzca la carga cognitiva en las interfaces médicas.*
*Los profesionales sanitarios que trabajan en entornos de alto estrés se enfrentan a importantes exigencias cognitivas al interactuar con interfaces médicas complejas. Un diseño deficiente de los sistemas puede agravar la carga cognitiva, lo que provoca errores, retrasos en la toma de decisiones críticas y compromete la seguridad del paciente.*

**Palabras Clave**
Carga cognitiva; diseño UX; ergonomía cognitiva; interfaces de monitorización médica; usabilidad clínica; seguridad del paciente; adaptabilidad contextual.

## 1. Introducción

En contextos de alta criticidad como la atención clínica o la aviación, los profesionales interactúan con sistemas complejos que requieren decisiones rápidas, precisas y sostenidas en el tiempo. Cuando las interfaces de usuario no están diseñadas considerando principios de ergonomía cognitiva, se incrementa la probabilidad de errores humanos, lo que puede comprometer tanto la eficacia operativa como la seguridad. Esta problemática está directamente relacionada con el concepto de carga cognitiva, entendida como la cantidad de esfuerzo mental requerido para procesar información en una tarea determinada.

Este informe analiza, desde una perspectiva centrada en el diseño UX, cómo las decisiones de interfaz pueden mitigar la carga cognitiva en sistemas críticos en entornos hospitalarios, particularmente en sistemas de monitorización de pacientes, donde la optimización de la interfaz puede marcar una diferencia significativa en el rendimiento humano.
El informe aborda la relación entre diseño UX y carga cognitiva en entornos clínicos, comenzando con la definición y el impacto de la carga cognitiva en la toma de decisiones bajo presión. Se examinan los elementos de diseño UX que facilitan percepción, atención y comprensión, y se presentan buenas prácticas y patrones de diseño para minimizar el esfuerzo mental. Asimismo, se analizan casos existentes de interfaces médicas y se proponen líneas de trabajo futuro, incluyendo validación de métricas, inteligencia artificial adaptativa, principios de neurociencia aplicada y estándares regulatorios.

## 2. Carga cognitiva

La carga cognitiva se refiere al nivel de esfuerzo mental necesario para procesar información en una tarea determinada. Existen tres tipos: intrínseca (propia de la tarea), extrínseca (asociada al modo de presentación) y germana (esfuerzo dedicado al aprendizaje) [5]. En entornos críticos, minimizar la carga extrínseca es clave para que los usuarios se concentren en la toma de decisiones.
Los entornos clínicos imponen una alta demanda cognitiva al personal de salud, que debe monitorear múltiples variables fisiológicas en tiempo real. Interfaces mal diseñadas pueden incrementar la carga cognitiva, retrasando o distorsionando las respuestas del usuario.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**3. Carga cognitiva y su impacto en la toma de decisiones bajo presión**

La carga cognitiva en entornos médicos surge de la interacción entre demandas de tareas complejas, estrés ambiental y limitaciones de la memoria de trabajo [5]. Estudios empíricos demuestran que interfaces mal diseñadas saturan los recursos cognitivos, llevando a errores en la toma de decisiones bajo presión. Por ejemplo, se observa que el 64% de los problemas de usabilidad en UCI (Unidad de Cuidados Intensivos) afectan la fase de planificación de acciones, incrementando la carga mental y reduciendo la eficacia clínica [4]. Esto se agrava en contextos de alta presión, donde la fatiga disminuye la usabilidad percibida [3]. Así, reducir la carga cognitiva no sólo optimiza el flujo de trabajo, sino que es un imperativo de seguridad.

**4. Elementos de diseño UX que influyen en la percepción, atención y comprensión del usuario**

La efectividad de las interfaces médicas depende críticamente de cómo gestionan la carga cognitiva del usuario. Los estudios analizados identifican elementos clave de diseño UX que optimizan la percepción, atención y comprensión en entornos clínicos. En esta sección se presentan los principales hallazgos organizados en distintas dimensiones.

Uno de los aspectos más relevantes es la jerarquía visual y la simplificación, que permiten reducir el ruido informativo y guiar la atención hacia los datos críticos. En el rediseño de NICE *Online*, por ejemplo, la reorganización visual y la agrupación de funciones relacionadas disminuyeron en un 42% los problemas de planificación cognitiva. Asimismo, el uso de patrones de escaneo natural en forma de “F” o “Z” ha demostrado orientar la mirada del usuario hacia signos vitales clave, aprovechando tendencias oculares innatas [2].

Otro elemento fundamental es la retroalimentación intuitiva, que facilita la interpretación de la información en situaciones de alta presión. Sistemas de EHR incorporan señales multimodales, como códigos de color, sonidos diferenciados y vibraciones, para comunicar niveles de urgencia sin saturar la memoria de trabajo. A su vez, la inclusión de progresos visibles mediante barras o iconografía animada reduce la incertidumbre durante las esperas, disminuyendo la frustración de los usuarios en un 30% según la métrica NASA-TLX [1].

También se destaca la importancia de la consistencia y los estándares en el diseño, ya que la adaptación del lenguaje clínico a expresiones más accesibles mejora la comprensión en usuarios con diferentes niveles de alfabetización médica. Del mismo modo, el uso de patrones de interacción familiares, inspirados en aplicaciones cotidianas como los gestos de deslizar, acorta significativamente la curva de aprendizaje de nuevos sistemas [4].

En cuanto a la descarga cognitiva (*offloading cognitivo)*, se ha comprobado que las interfaces tangibles (TUI), como aquellas basadas en realidad aumentada en quirófanos, permiten manipular datos de forma física, reduciendo la carga mental en un 24% frente a las interfaces gráficas tradicionales. Además, la automatización contextual mediante sugerencias predictivas —como el autocompletado de diagnósticos en EHRs— libera recursos de memoria de trabajo y facilita la toma de decisiones en momentos críticos [3].

Por último, el diseño adaptativo al contexto surge como una estrategia clave para responder a las particularidades de entornos hospitalarios dinámicos. Interfaces que alternan entre modos de “rutina” y “emergencia” priorizan la visualización de información vital en situaciones críticas, ocultando funciones secundarias para

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



optimizar la atención. Asimismo, la personalización dinámica que ajusta la disposición de parámetros según el rol del usuario —médico o enfermera— reduce las búsquedas visuales hasta en un 40% [2].

Tal como se expone en lo anterior, la ***Tabla 1*** muestra el impacto en la carga cognitiva derivado de la incorporación de mejoras en elementos de UX.

***Tabla 1:*** *Evidencia de impacto en carga cognitiva al implementar mejoras en elementos UX*

| Elemento UX | Métrica Mejorada | Reducción de carga cognitiva |
|---|---|---|
| Jerarquía Visual | Tiempo de tarea (NICE online) | -30% [4] |
| Retroalimentación AR | Errores en simulaciones quirúrgicas | -45% [1] |
| Lenguaje adaptado | Comprensión en baja alfabetización | +62% [2] |

**Observación clave**

La percepción y comprensión se optimizan cuando el diseño anticipa flujos cognitivos clínicos. Por ejemplo, interfaces que alinean la presentación de datos con el proceso diagnóstico (p. ej., síntoma → pruebas → tratamiento) reducen la carga al eliminar saltos contextuales [3].

## 5. Propuestas de buenas prácticas o patrones de diseño que minimicen el esfuerzo mental

Las buenas prácticas de diseño que contribuyen a minimizar el esfuerzo mental se apoyan en los mismos principios que influyen en la carga cognitiva. Una jerarquía visual inteligente resulta esencial, donde la aplicación de la ley de proximidad permite agrupar elementos relacionados —por ejemplo, los signos vitales en un mismo bloque visual— y el uso de contraste estratégico en color o tamaño resalta los datos críticos, como valores fuera de rango en rojo. A ello se suma la eliminación de redundancias, mostrando únicamente la información esencial y ocultando opciones no utilizadas en contextos de emergencia.

La retroalimentación multimodal e inmediata también es clave, incorporando señales auditivas diferenciadas, como tonos graves para alertas críticas y tonos agudos para simples recordatorios. Asimismo, se recomienda el uso de retroalimentación (*feedback)* visual progresivo, mediante barras de carga animadas en procesos lentos, como la generación de informes, y confirmaciones táctiles en dispositivos móviles, como vibraciones al registrar acciones de medicación.

La consistencia y el lenguaje claro reducen el esfuerzo mental mediante glosarios integrados, donde los cuadros de información contextual (*tooltips)* ofrecen definiciones de términos técnicos (p. ej., “Taquicardia = FC > 100 lpm”), junto con una iconografía estandarizada que utilice símbolos ISO de uso universal. Mantener flujos de interacción predecibles, como la ubicación constante de botones clave —por ejemplo, “Guardar” siempre en la esquina inferior derecha— asegura un aprendizaje más rápido y uniforme.

El *offloading* cognitivo puede lograrse mediante automatización, con herramientas como autocompletado inteligente que sugiere diagnósticos o medicamentos a medida que el usuario escribe (ej: "diab-" → "diabetes tipo 2"), plantillas predefinidas que agilizan escenarios frecuentes como el triaje COVID-19 y calculadoras integradas que determinan automáticamente dosis basadas en peso o talla, evitando cálculos manuales.

El diseño adaptativo al contexto también cumple un papel relevante. Por ejemplo, los modos operativos permiten diferenciar entre rutina —donde se muestran datos completos— y emergencia —donde se ocultan funciones no críticas y se amplifican las alarmas—. La personalización según el rol profesional optimiza la experiencia: enfermeras priorizan flujos de medicación mientras que médicos acceden a historiales más

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



detallados. Además, la inclusión de un modo oscuro (*dark mode*) para turnos nocturnos ayuda a reducir la fatiga visual.

Finalmente, la validación iterativa con usuarios constituye un componente fundamental. Entre las metodologías más recomendadas se incluyen las pruebas NASA-TLX para medir la carga cognitiva antes y después de un rediseño, el test de cinco segundos para evaluar la comprensión rápida de la interfaz y las simulaciones de estrés, que permiten observar el rendimiento bajo condiciones de presión, como la activación simultánea de alarmas.

**6. Análisis de casos existentes de interfaces médicas y su gestión de la carga cognitiva**

Se busca encontrar evidencia empírica acerca de la importancia de la baja carga cognitiva o el impacto de esta, en la toma de decisiones mediante sistemas médicos críticos. Para esto se analiza distintas publicaciones:

- Interfaces de Realidad Aumentada (AR): Se analizaron interfaces como las utilizadas en anestesiología, que muestran datos fisiológicos en tiempo real con *overlays* contextuales. En un experimento comparando TUI (Realidad Aumentada) vs. GUI (Interfaz Gráfica) en diseño creativo, se obtiene una disminución del 24% de carga cognitiva en TUI vs. GUI. Las TUI reducen en gran medida la carga cognitiva de los usuarios en comparación con las interfaces GUI y promueven acciones epistémicas (manipulación física que descarga memoria de trabajo). Dentro de la aplicación médica, se concluye que las interfaces físicas/AR en quirófanos o UCI reducen errores en tareas complejas [1].

- Símbolos y Terminología: Se observa que dispositivos médicos con símbolos o terminología ambiguos exigen un esfuerzo adicional de interpretación, por más que los usuarios que utilizan este software tengan amplios conocimientos.

- Validación de métricas: Se observa que las interfaces con múltiples ventanas y menús jerárquicos incrementan la frustración y el tiempo de respuesta. En este estudio se utilizan dos herramientas combinadas: NASA-TLX (carga mental) + Heurísticas de Nielsen, descubriendo que la carga mental aumenta un 37% al final de turnos clínicos. Por ello, es crucial mantener una organización de los datos lo más sencilla posible, concluyendo que lo mejor es diseñar interfaces que adapten su complejidad según la fatiga del usuario (e.g., simplificar diseños de flujos en turnos largos) [3].

- Sistemas de EHR rediseñados: Se analiza el caso de NICE *Online*, donde se rediseña una herramienta de consulta de datos en una Unidad de Cuidados Intensivos usando pensamiento en voz alta (*Think Aloud*). El rediseño corrige problemas de "planificación" (e.g., navegación confusa), lo que demuestra una disminución de la carga cognitiva y mejora la precisión en un 46%. Los resultados clave son:

- Aumento en la Eficacia en tareas: 50% al 96%.
- Disminución del tiempo de respuesta: reducción significativa.
- Disminución en la carga cognitiva: Problemas previos asociados a la fase de planificación (*User Action Framework*).
- Reducir pasos para acceder a datos críticos impacta más en la carga mental (positivamente) que en los ajustes cosméticos.

[4]

**7. Conclusión**

La evidencia empírica demuestra que la gestión proactiva de la carga cognitiva en interfaces médicas es un imperativo de seguridad, no solo de usabilidad. Los estudios analizados revelan patrones críticos:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Interfaces que saturan la memoria de trabajo aumentan errores bajo presión, especialmente en fases de planificación (64% de problemas en UCI [4]).
- Elementos de diseño estratégico (jerarquía visual, retroalimentación multimodal, *offloading* cognitivo) reducen la carga mental entre 24-45%, optimizando la atención en tareas críticas [1, 2]
- El contexto clínico dicta requisitos de diseño: interfaces que adaptan complejidad según fatiga del usuario o modo operativo (rutina/emergencia) mitigan riesgos en escenarios dinámicos [3].

La correlación entre carga cognitiva reducida y precisión diagnóstica (ej: +46% eficacia post-rediseño en *NICE Online*) subraya que el UX médico debe priorizar flujos que respeten los límites neurocognitivos humanos. Ignorar este principio compromete la seguridad del paciente.

**8. Trabajos futuros**

A partir del análisis interdisciplinario entre neurociencia, UX y medicina, se identifican diversas líneas estratégicas orientadas a reducir la carga cognitiva en entornos clínicos de alta complejidad. Estas propuestas integran hallazgos empíricos y proyecciones de innovación tecnológica, con el propósito de guiar futuras investigaciones, rediseños de interfaces y políticas regulatorias.

Asimismo, se propone realizar un estudio de caso o una simulación experimental real que permita validar empíricamente las propuestas de diseño presentadas, con el fin de fortalecer la evidencia práctica sobre su efectividad en contextos clínicos reales.

En primer lugar, la validación de métricas en escenarios reales constituye un eje prioritario. Se plantea la implementación de monitoreo continuo de la carga cognitiva mediante técnicas de seguimiento ocular (*eye-tracking)* y sensores biométricos, como el ritmo cardíaco o dispositivos EEG portátiles, aplicados durante turnos clínicos extensos. Asimismo, se propone el desarrollo de puntos de referencia específicos (*benchmarks)* por especialidad —por ejemplo, cuidados intensivos frente a atención primaria— con el fin de cuantificar de manera precisa los impactos en la seguridad.

La inteligencia artificial adaptativa representa otra línea de avance clave. Su aplicación permitiría diseñar sistemas auto-ajustables capaces de modificar la complejidad de la interfaz según el nivel de fatiga del usuario —por ejemplo, simplificando flujos después de diez horas de turno— o en función del contexto operativo, como ocultar funciones no críticas durante códigos de emergencia. Del mismo modo, se sugiere explorar el uso de asistentes de voz con procesamiento de lenguaje natural que reduzcan la necesidad de interacciones manuales en tareas de alto riesgo, como el registro de medicación.

Desde la perspectiva de la neurociencia aplicada al diseño, se plantea estudiar mediante técnicas de fMRI cómo médicos expertos y novatos procesan la información presentada en las interfaces, lo cual permitiría identificar patrones neuronales asociados a la sobrecarga cognitiva. Estos hallazgos podrían traducirse en patrones de diseño basados en principios de neuroergonomía, tales como disposiciones espaciales optimizadas para minimizar el esfuerzo visual en la corteza occipital.

Por último, los estándares regulatorios emergen como un componente fundamental para garantizar la seguridad. Se recomienda promover certificaciones obligatorias de baja carga cognitiva en dispositivos médicos, que incluyan pruebas como NASA-TLX y simulaciones de estrés dentro de los procesos de homologación. Además, se sugiere la creación de repositorios públicos de patrones de diseño (*design patterns)* validados, como librerías de componentes para historias clínicas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



electrónicas cuya eficacia está probada en la reducción de errores.

**Referencias**

[1] Chandrasekera, T. & Yoon, S. (2015). The Effect of Tangible User Interfaces on Cognitive Load in the Creative Design Process. IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. DOI: 10.1109/ISMAR-MASHD.2015.18

[2] Familoni, B.T. & Babatunde, S.O. (2024). User Experience (UX) Design in Medical Products: Theoretical Foundations and Development Best Practices. Engineering Science & Technology Journal. DOI: 10.51594/estj/v513.975

[3] Longo, L. & Kane, B. (2011). A Novel Methodology for Evaluating User Interfaces in Health Care. 24th International Symposium on Computer-Based Medical Systems. DOI: 10.1109/CBMS.2011.5999024

[4] Peute, L.W. et al. (2011). Reducing Clinicians' Cognitive Workload by System Redesign; a Pre-Post Think Aloud Usability Study. Studies in Health Technology and Informatics. DOI: 10.3233/978-1-60750-806-9-925

[5] Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. Cognitive Science, 12(2), 257-285. DOI: 10.1207/s15516709cog1202_4

[6] Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. Human Mental Workload, 139-183. DOI: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9

**Datos de Contacto:**

*Brambilla Agustín Eduardo, Instituto universitario aeronáutico, José Ingenieros 238, Villa Carlos Paz, Argentina. abrambilla804@alumnos.iua.edu.ar*
*Tobias Funes, Instituto universitario aeronáutico, Madrid 13, Salsipuedes, Córdoba, Argentina. tfunes744@alumnos.iua.edu.ar*
*Benjamin Vargas, Instituto universitario aeronáutico, El Chañar 239, Agua de Oro, Córdoba, Argentina. bvargas161@alumnos.iua.edu.ar.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# IDENTIFICACIÓN DE LA DEMANDA NECESARIA PARA ALCANZAR EL PUNTO DE EQUILIRIO ECONÓMICO UTILIZANDO PROGRAMACIÓN LINEAL POR METAS

**Romano, Lautaro Exequiel**

**Quinteros, Daniel Maximiliano**

**Rodríguez Nicolás Mariano**

**Orellana Aguilera, Lucas Agustín**

***Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**

El presente trabajo desarrolla un modelo de Programación Lineal por Metas orientado a la gestión de un alojamiento turístico rural en el noroeste argentino. El objetivo principal es proponer una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que permita maximizar ingresos, planificar inversiones en infraestructura y reducir la carga operativa de la administración. La metodología aplicada se basa en la formulación de un modelo matemático con variables de decisión relacionadas con la asignación de recursos, restricciones derivadas de la capacidad instalada y metas vinculadas a la satisfacción de la demanda proyectada y la optimización de costos. Los resultados obtenidos muestran que el enfoque de Programación Lineal por Metas brinda soluciones factibles que equilibran múltiples objetivos, como incrementar la rentabilidad, mejorar la oferta de servicios y priorizar inversiones estratégicas en etapas definidas. Asimismo, se evidencia que la aplicación de modelos de investigación operativa en contextos turísticos rurales constituye un aporte significativo para la gestión eficiente de recursos limitados. En conclusión, el modelo planteado representa una base sólida para futuras mejoras en la planificación estratégica del sector turístico, ofreciendo lineamientos cuantitativos para la toma de decisiones bajo condiciones de múltiples metas y restricciones.

**Palabras clave:** Programación Lineal por Metas, Investigación Operativa, Optimización, Turismo Rural, Planificación Estratégica

## Fundamentación

El alojamiento La Guarida, ubicado en Amaicha del Valle, presenta desafíos críticos a la hora de administrar los ingresos, derivados de su marcada estacionalidad, con alta demanda concentrada en festividades populares como la Pachamama (en agosto), el Carnaval (en febrero) y la Fiesta del Vino Patero (en julio), y largos periodos de baja ocupación. Actualmente el alojamiento debe sostener costos fijos durante todo el año (personal de limpieza, mantenimiento y administración, servicios de luz, wifi e insumos de mantenimiento), lo que genera tensiones de caja y limita la capacidad de inversión para mejorar las instalaciones.

Su público, en un muestreo anual, incluye delegaciones escolares, maestras que trabajan en los valles, fuerzas policiales y grupos universitarios de ciencias naturales y medicina, cuyas estadías requieren infraestructura adecuada, sanitarios suficientes y planificación ajustada a grandes grupos.

Para resolver esta problemática se plantea como objetivo desarrollar un modelo que permita determinar la cantidad de huéspedes mensuales necesarios, a lo largo de un año, para cubrir costos fijos, costos variables y las inversiones deseadas por la dueña. Estas inversiones consisten en la construcción de cuatro nuevos baños para las habitaciones que actualmente no lo poseen y una habitación extra, aumentando la capacidad de las instalaciones. El modelo incorporará la capacidad máxima de habitaciones, los costos unitarios por huésped y las variaciones tarifarias entre temporada alta y baja, observando el comportamiento de la demanda históricamente para una gestión óptima de las instalaciones.

## Objetivos

### Objetivo general

Diseñar un modelo de Programación Lineal por Metas que permita calcular la cantidad óptima de habitaciones y la distribución de personas en ellas para alcanzar niveles de ganancia suficientes que cubran los costos fijos y variables del alojamiento, así también las inversiones necesarias para su mejora y expansión. Para ello, se tendrán en cuenta las tendencias estacionales de la demanda turística y el conocimiento empírico aportado por la dueña del alojamiento, basado en más de 20 años de experiencia.

### Objetivos específicos

- Identificar y clasificar con claridad los costos fijos y variables mensuales que enfrenta el alojamiento.
- Identificar las tendencias mensuales de ocupación, considerando el comportamiento histórico de la demanda turística en la región.
- Determinar la cantidad óptima de habitaciones ocupadas y la mejor distribución de grupos en ellas para cubrir costos fijos, costos variables e inversión.
- Crear una cultura de organización en el alojamiento que facilite la toma de decisiones.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### ➢ Marco Contextual

El alojamiento La Guarida está ubicado en Amaicha del Valle, un destino con fuerte estacionalidad donde la demanda se concentra en los meses de temporada alta en el verano, como también en festividades importantes de la zona, como la Pachamama, el Carnaval y la Fiesta del Vino Patero. Durante esos periodos recibe grupos grandes, mientras que en el resto del año la ocupación es baja o intermitente. Sus huéspedes son principalmente delegaciones escolares, fuerzas de seguridad y grupos universitarios de ciencias naturales y medicina, que requieren estadías organizadas y servicios sanitarios adecuados. Esta variabilidad obliga a comparar la demanda mínima necesaria para sostener el emprendimiento con la demanda histórica registrada, con el fin de diseñar estrategias efectivas que permitan captar la diferencia en las semanas críticas.

Actualmente el alojamiento cuenta con 18 habitaciones, 14 con baño privado y 4 con baño compartido. Tiene costos fijos mensuales importantes que incluyen pago de personal de limpieza y administración, servicios de luz, gas y wifi, insumos de limpieza y mantenimiento. Los costos variables crecen en alta ocupación, por mayor uso de agua, gas (garrafas) y lavandería. Se relevaron precios estimados por noche entre $15.000 en temporada baja y $18.000 en temporada alta por persona para las habitaciones con baño privado, y de $8.500 en temporada baja y $10.000 en temporada alta para las habitaciones sin baño.

La propuesta planteada, analiza el punto óptimo donde las ganancias por ocupación de habitaciones y los costos fijos, variables y los requeridos para las inversiones, convergen para lograr un equilibrio. Determinando si es posible con la capacidad de alojamiento instalada y las restricciones presentes, poder alcanzar ese equilibrio.

## Marco Teórico

Se aplicará un modelo de Programación Lineal por Metas (Goal Programming), una técnica respectiva a la investigación de operaciones, la cual permite resolver problemas con múltiples objetivos y restricciones reales de forma simultánea. Este enfoque es especialmente útil para nuestro campo de estudio “Alojamiento La Guarida”, donde este tiene recursos limitados y múltiples metas con distinto grado de prioridad.

El modelo permitirá sugerir la cantidad de huéspedes por mes necesarios para cubrir costos fijos, costos variables y realizar una inversión. También se evaluará la diferencia entre esta demanda mínima y la demanda pronosticada históricamente, para estimar la brecha a cubrir.

## Marco Conceptual

- **Estacionalidad:** variación de la demanda turística durante el año, con picos altos en fechas festivas y bajos en periodos de baja ocupación.
- **Costos fijos:** gastos que se mantienen estables cada mes, como personal de limpieza y administración o servicios básicos (luz, gas, wifi).
- **Costos variables:** gastos que dependen del nivel de ocupación, como agua, gas en garrafas e insumos de limpieza.
- **Programación Lineal por Metas:** técnica de investigación operativa para resolver problemas con múltiples objetivos simultáneos, como cubrir costos, generar ganancias y acumular excedentes para inversiones.
- **Demanda mínima necesaria:** cantidad calculada de huéspedes requerida por mes para cubrir todos los costos y lograr la ganancia objetivo.
- **Demanda histórica:** ocupación real registrada en años previos, que se compara con la demanda mínima para estimar la brecha a cubrir con estrategias promocionales.
- **Restricción operativa:** límite en la cantidad de habitaciones activas mensualmente para evitar incrementar la carga de trabajo de la propietaria.
- **Meta de inversión:** objetivo financiero concreto destinado a la construcción de cuatro baños nuevos y una habitación extra.

## Desarrollo del modelo de programación lineal por metas

El presente trabajo desarrolla un modelo de Programación Lineal por Metas, aplicado mediante el método preventivo o jerárquico, con el propósito de proponer una organización integral y eficiente que permita planificar y gestionar la ocupación mensual del alojamiento *La Guarida* a lo largo de un año. El modelo busca el punto de equilibrio donde la cantidad de ocupación de habitaciones posibilite, económicamente, la realización de las inversiones sin dejar de cubrir los costos que se presentan en el establecimiento a lo largo del mes. A su vez este punto de equilibrio garantiza los ingresos necesarios para cubrir todas las necesidades planteadas por la dueña sin sobrestimar esfuerzos para la misma ni comprometer la sustentabilidad operativa ni la calidad del servicio ofrecido a los huéspedes.

Para ello, se contemplan los distintos perfiles de huéspedes que visitan el alojamiento durante el año (grupos escolares, universidades, personal de salud, fuerzas de seguridad, entre otros), así como los dos tipos de habitaciones disponibles (con baño privado y sin baño), y las diferentes combinaciones posibles de ocupación (desde una hasta cuatro personas por unidad). El modelo se apoya en una matriz mensual de demanda proyectada, integrada con la variabilidad de los costos operativos según el nivel de ocupación, permitiendo así una planificación realista, adaptable y económicamente sostenible.

## Variables de decisión de parámetros clave

El modelo se estructura en función de un conjunto de variables de decisión que permiten representar la asignación mensual de personas a cada tipo de habitación en distintas combinaciones posibles de ocupación, a su vez también se representan como variables de activación de personal de limpieza a contratar, de acuerdo con la necesidad de cada mes. Y por último tenemos en cuenta las desviaciones positivas y negativas asociadas a las metas establecidas, conforme al enfoque de Programación Lineal por Metas. Donde la representación de cada variable será la cantidad de noches por tipo de habitación y cantidad de personas en ellas, personal de limpieza a contratar y las desviaciones en relación con el histórico para cada mes.

Variables principales de ocupación:

- Se definen de la forma:

$$Xm, t, o \; para \; todo \; m \in \{1, \ldots, 12\}, t \in \{con \; baño(B), sin \; baño(S)\}, o \in \{1,2,3,4\}$$

Donde:
$Xm, t, o$: representa la cantidad de habitaciones ocupadas en el

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mes **"m"** del tipo **"t"** (con baño o sin baño), con **"o"** personas alojadas en cada una.

Estas variables permiten modelar la ocupación realista y granular del alojamiento, considerando que cada habitación puede ser ocupada por 1 hasta 4 personas, y diferenciando entre habitaciones con baño privado y sin baño.

## Variables de desviación

Con el objetivo de abordar múltiples metas jerárquicas (económicas, operativas y estratégicas), se introducen variables de desviación asociadas al cumplimiento o incumplimiento de cada una de ellas:

$$d_i^+, d_i^- \text{ para } i=1, \dots, 15$$

Donde:

- $d_i^+$: desviación positiva respecto a la meta i, representa un exceso sobre el valor deseado (por ejemplo, más costos o más ocupación de la esperada).
- $d_i^-$: desviación negativa respecto a la meta i, representa un déficit respecto al valor objetivo (por ejemplo, menos ingresos o menos ocupación que la esperada).

Estas variables no solo permiten medir el grado de incumplimiento, sino que también forman parte de las funciones objetivo- jerarquizadas, ya que se busca minimizar las desviaciones en orden de prioridad.

## Restricciones

El modelo incluye un conjunto de restricciones que buscan representar la capacidad real del alojamiento, la composición lógica de las habitaciones, y las condiciones operativas y económicas que deben cumplirse mes a mes para asegurar la viabilidad del servicio. Estas restricciones se formulan en función de las variables de ocupación y las desviaciones asociadas a las metas.

### a) Restricción de capacidad mensual por tipo de habitación

Se limita la ocupación mensual total de habitaciones según la **disponibilidad física** del establecimiento, considerando el máximo de 14 habitaciones con baño privado y 4 habitaciones sin baño con una capacidad de 4 personas por habitación, disponibles todos los días del mes.
Para cada mes $m \in \{1,\dots,12\}$:

Habitaciones **con baño privado**:

$$\sum_{o=1}^{4} x_{m,B,o} \leq 14\, D_m$$

Habitaciones **con baño compartido:**

$$\sum_{o=1}^{4} x_{m,B,o} \leq 14\, D_m$$

Donde:

- $Dm$ es la cantidad de días del mes m,
- $xm,B,o$: habitaciones con baño ocupadas por o personas,
- $xm,S,o$: habitaciones sin baño ocupadas por o personas.

### b) Restricción de personas por habitación

Para mantener la lógica de ocupación, se restringe cada habitación a un máximo de 4 personas. Esto ya está implícito en la definición de variables $x_{m,t,o}$ para o $\in\{1,2,3,4\}$, pero si se permite una asignación libre de personas, habría que agregar:

$$x_{m,t,o} = 0 \;\forall\, o > 4$$

### c) Restricciones de desviaciones para metas

Las desviaciones positivas y negativas se aplican sobre las 15 metas definidas, siguiendo la lógica:
$\text{Valor real de la meta}_i + d_i^+ - d_i^- = \text{Valor objetivo}_i$ para $i=1, \dots, 15$

Estas ecuaciones serán utilizadas en cada etapa del método preventivo, donde se resolverá una meta a la vez minimizando $d_i^+ + d_i^-$, y luego se fijará su resultado como una nueva restricción.

$$\sum_{o=1}^{4} x_{m,B,o} * 20 + (7 * i - 1) \leq 64 \,.\, E_m$$

$$\sum_{o=1}^{4} x_{m,B,o} * 15 + (7 * i - 1) \leq 64 \,.\, E_m$$

Donde 64 representa la cantidad de horas que puede trabajar mensualmente una empleada y $E_m$ representa la cantidad de empleados de limpieza contratados para el mes $m$.

### d) Cantidad máxima de empleados de limpieza mensual

$$E_m \leq 2 \;\forall\, m$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Donde $E_m$ representa la cantidad de empleados de limpieza contratados para el mes $m$.

**e) Restricción de no negatividad**

$$x_{m,t,o} > 0\ ;\ d+_i, d-_i \geq 0\ \forall m, t, o, i$$

## Función Objetivo

En este enfoque, las metas se ordenan por nivel de importancia y se resuelven una a una, fijando el resultado óptimo de cada meta como restricción para la siguiente.
A continuación, se detallan las cuatro metas principales consideradas en el modelo, junto con su nivel de prioridad y su respectiva función objetivo:

### META 1 – Prioridad 1: Cubrir los costos fijos mensuales

Esta meta busca garantizar que la estructura del alojamiento logre al menos cubrir los costos fijos anuales independientemente de la cantidad de ocupación. Estos están compuestos por:

- Costo de mantenimiento anualizado (pintura, reparaciones, mano de obra, camas y colchones): $2.916.000
- Costo de sueldo anualizado empleado administrativo: $5.376.000
- Costo sueldo anualizado (sugerido) para la dueña: $24.000.000 Dándonos un total de $32.292.000

Se formula la siguiente ecuación de meta:

$$\sum (Precio\ por\ persona\ x\ Cantidad\ de\ personas\ por\ combinación\ y\ mes) + d^- - d^+ = \$32.292.000$$

**Siendo**

- $d_i^+$ : desviación **positiva** que representa el exceso sobre el valor objetivo (no deseado),
- $d_i^-$ : desviación **negativa** que representa el déficit respecto al valor objetivo (crítica).

**Función objetivo en esta etapa**:

$$\min d_1^+$$

### META 2 – Prioridad 2: Cubrir los costos totales (fijos + variables)

Una vez cubierta la meta anterior, se busca que el alojamiento también logre cubrir los costos totales, incluyendo tanto fijos como variables (gas, insumos de limpieza, lavandería, etc.) provenientes del nivel de ocupación.

- Costos de META 1: $32.292.000
- Costo de sueldo empleado de limpieza: $945.360
- Costo luz y gas: $1.254.175 Dándonos un total de $34.491.535

Donde se plantea la siguiente meta:

$$\sum (Precio\ por\ persona\ x\ Cantidad\ de\ personas\ por\ combinación\ y\ mes) + d^- - d^+ = \$34.491.535$$

**Función objetivo en esta etapa**

$$\min d_2^+$$

### META 3 – Prioridad 3: Alcanzar una ganancia mínima esperada para poder realizar las inversiones cubriendo a su vez costos totales

Una vez asegurado el equilibrio económico, el modelo busca alcanzar el importe calculado destinado a inversiones. Compuestas por:

- Construcción de baños para las habitaciones que no poseen (4): $2.242.152 x 4 = $8.968.608
- Construcción de una habitación completa: $3.335.900

Dándonos un total de: $12.304.508 a los cuales sumaremos los costos de las metas anteriores, dándonos así la suma de **$46.796.043**

La tercera meta se define como:

$$\sum (Precio\ por\ persona\ x\ Cantidad\ de\ personas\ por\ combinación\ y\ mes) + d^- - d^+ = \$46.796.043$$

La tercera meta se define como:

$$\sum (Precio\ por\ persona\ x\ Cantidad\ de\ personas\ por\ combinación\ y\ mes) + d^- - d^+ = \$46.796.043$$

**Función objetivo en esta etapa**

$$\min d_3^+$$

### META 4 – Prioridad 4: Alcanzar metas de ocupación mensual equilibradas en base al histórico mensual

Como parte del análisis integral, se establece una cuarta meta de menor prioridad orientada a mantener un perfil de ocupación mensual realista y distribuido, en concordancia con la estacionalidad observada en años anteriores. Esta meta tiene como objetivo evitar concentraciones artificiales de ocupación en pocos meses, lo cual podría distorsionar la planificación operativa o gen erar soluciones económicamente válidas, pero logísticamente inviable.
Para cada mes $m \in \{1,...,12\}$, se define una meta de ocupación esperada, y se introducen variables de desviación positiva y negativa:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$$P_{m,real} + d_m^- - d_m^+ = P_{m,objetivo}$$

Donde:

- $P_{m,real}$ : ocupación en personas en el mes m, calculada a partir de las combinaciones de habitaciones y personas,
- $P_{m,objetivo}$ : valor objetivo de personas esperadas según historial o planificación,
- $d_m^+$: desviación positiva (ocupación por encima del valor objetivo),
- $d_m^-$: desviación negativa (ocupación por debajo del objetivo).

## Función objetivo de esta meta

$$min \sum_{i=1}^{12} d_i^+ - d_i^-$$

## DETALLES CUALITATIVOS DEL MODELO

El enfoque por metas permite ajustar las prioridades según necesidades del negocio: cubrir costos, generar utilidad, financiar mejoras, y sostener la operación en un contexto con brechas estacionales extremas, como a su vez contemplar un factor importante en este caso de estudio como disminuir la carga de trabajo en la dueña mediante un mínimo rentable de ocupaciónEl enfoque por metas permite ajustar las prioridades según necesidades del negocio: cubrir costos, generar utilidad, financiar mejoras, y sostener la operación en un contexto con brechas estacionales extremas, como a su vez contemplar un factor importante en este caso de estudio como disminuir la carga de trabajo en la dueña mediante un mínimo rentable de ocupación

## Resultados y análisis de inversión

**RESULTADOS**

El modelo planteado mediante Programación Lineal por Metas nos dio como resultado los siguientes valores para las variables de decisión planteadas:

- Cantidad de noches necesarias de cada tipo de combinación de habitación para cumplir con los objetivos:

## Tabla de resultados del análisis de inversión

| Mes | Histórico aprox. | Ocupación modelo – con baño | Ocupación modelo – sin baño | Personal de limpieza | Desviación vs. histórico |
|---|---|---|---|---|---|
| **Enero** | 90 | 369 | – | 1 | +279 noches-persona |
| **Febrero** | 144 | 51 | 112 | 1 | +19 noches-persona |
| **Marzo** | 144 | 303 | 112 | 2 | +271 noches-persona |
| **Abril** | 130 | 129 | 1 | 1 | Sin desviación |
| **Mayo** | 84 | – | 86 | 1 | +2 noches-persona |
| **Junio** | 102 | 101 | 1 | 1 | Sin desviación |
| **Julio** | 150 | 149 | 1 | 1 | Sin desviación |
| **Agosto** | 136 | 86 | 50 | 1 | Sin desviación |
| **Septiembre** | 76 | 42 | 75 | 1 | +41 noches-persona |
| **Octubre** | 20 | 2 | 18 | 1 | Sin desviación |
| **Noviembre** | 20 | 2 | 18 | 1 | Sin desviación |
| **Diciembre** | 90 | 90 | – | 1 | Sin desviación |

## Construcción de 4 baños adicionales

- Con un costo estimado de $2.242.152 por baño, en concordancia de materiales con los ya existentes en los demás baños de las habitaciones (Anexo_Presupuesto_Baño_LaGuarida_2025), esta mejora permitirá incrementar los ingresos del alojamiento con respecto a las habitaciones que actualmente no poseen instalaciones sanitarias.

## Habitación para administración en planta alta

- Con un costo total de $3.335.900, se plantea un diseño de habitación con baño situado en la planta alta de la cabaña principal, el cual, en un principio, el destino es de uso personal de la dueña, pero no se descarta que en situaciones donde el alojamiento se encuentre completamente ocupado, se pueda ofrecer esta habitación al público. (Anexo_Presupuesto_Habitacion_LaGuarida_2025)

## Recomendación de estrategias:

Además de la planificación financiera y económica, se plantean estrategias de promoción y fidelización de bajo costo-esfuerzo, pensadas para mitigar la estacionalidad y aumentar la satisfacción y comodidad de los clientes.

### a) Entrega de souvenirs regionales

Se propone la compra de jabones de vinos de producción regional, elaborados en la bodega local.

### Objetivos de la estrategia

- Crear una imagen diferencial frente a otros alojamientos.
- Generar un recuerdo tangible y sensorial de la experiencia en Amaicha del Valle.
- Fomentar la identidad cultural del Valle Calchaquí.
- Incentivar la recomendación y el retorno del cliente.

**Costo proyectado:** $750 por unidad (50 unidades mensuales).

- Producción tercerizada en la bodega local.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Promoción cruzada en la bodega: visitantes del alojamiento podrán conocer el proceso de producción de dichos jabones.

Esta colaboración fomenta la economía circular y genera cadenas de valor compartidas con emprendedores locales, mejorando la percepción de sostenibilidad y compromiso con el destino.

### b) Alianza con Restaurante "La Termeña"

Se propone realizar un convenio de descuento para huéspedes de "La Guarida" que deseen desayunar o almorzar en dicho Restaurante. Se mantuvo una reunión con el propietario del local y se mostró entusiasmado con la propuesta.

- 15% de descuento en consumos para los clientes alojados en "La Guarida"

### c) Argumento cultural

En Amaicha, el lazo entre gastronomía y turismo es clave. Fomentar la colaboración entre negocios reduce la competencia
destructiva y fortalece un "circuito de confianza" que beneficia a todo el pueblo.

**Referencias**


- Anderson, D. R. (2010). *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. Cengage Learning.
- Investigación de operaciones ,9th Edition, by Hamdy A.Taha
- Ferretería Velardez (2025). Cotizaciones de materiales en Amaicha del Valle.
- Ing. Mario Gómez (Mat. Prov. 56789 – Tucumán). Presupuestos de mano de obra para construcciones rurales.
- Observatorio de Turismo de Tucumán, muestras (2023). Datos y estadísticas de la demanda turística en Amaicha del Valle, Tafí y El Mollar.
- Organización Mundial del Turismo (2023). *Recomendaciones para turismo sostenible en zonas rurales*.
- Bodega Regional Amaicha. Entrevistas y acuerdos preliminares para producción de jabones artesanales.
- Resto Bar La Termeña. Acuerdo comercial para descuentos a huéspedes.
- Experiencia de la Sra. Rosa, propietaria de La Guarida.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Hacia un Transporte de Cargas Sostenible en Argentina: Modelos Dinámicos de Emisiones de $CO_2$

**Canavesio, Gabriel. Duarte, Augusto. Echevarría, Wenceslao. Hiembuchner, Florencia.**
***UTN, Facultad Regional Santa Fe***

**Abstract**
*Este trabajo se realizó en el marco de la asignatura Dinámica de sistemas con el objetivo de analizar el impacto ambiental del transporte de cargas en Argentina y proponer alternativas para reducir las emisiones de $CO_2$. Para ello se desarrolló un modelo dinámico que permite representar las principales variables del sector y sus interrelaciones. La metodología incluyó la construcción de diagramas causales y de Forrester, a partir de los cuales se definieron ecuaciones y escenarios de simulación. Con el modelo se evaluaron tres escenarios: la continuidad del predominio de motores diésel, la aplicación de políticas de incentivo para la conversión a GNC y la introducción de mejoras tecnológicas que incrementan la eficiencia. Los resultados indican que las políticas públicas y la reducción de costos del GNC son factores decisivos para acelerar la transición hacia tecnologías más limpias. El beneficio principal de la propuesta radica en la disminución significativa de emisiones de $CO_2$, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular los relacionados con la acción climática y la energía asequible y no contaminante.*

**Palabras Clave**
Modelos Dinámicos; Simulación; Emisiones de $CO_2$; Transporte de Cargas; GNC; Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

## Introducción

El transporte de carga en Argentina depende en gran medida de vehículos propulsados por diésel, lo que genera un impacto ambiental significativo por las emisiones de dióxido de carbono ($CO_2$). Un estudio conjunto del INTA y Michelin monitoreó, durante el primer semestre de 2023, más de 20,5 millones de kilómetros recorridos por 326 camiones representativos del 40 % del parque nacional, registrando un consumo total de 6,41 millones de litros de gasoil (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, 2023) [1]. Este tipo de datos constituye un insumo clave para estimar de manera más precisa la huella de carbono del sector. De hecho, considerando los 6,41 millones de litros de gasoil consumidos durante el período monitoreado, y aplicando un factor de emisión de 2,68 kg $CO_2$ por litro (IPCC, 2006) [2], se estima que los camiones analizados emitieron aproximadamente 17.179 toneladas de $CO_2$.

Ante este escenario, explorar alternativas energéticas más limpias resulta fundamental. El gas natural comprimido (GNC), que ya cuenta con cierto grado de desarrollo en el país, se presenta como una opción viable para reducir emisiones. El modelo propuesto pretende aportar información de utilidad a organismos públicos responsables de diseñar políticas de transporte y ambiente, a empresas de logística y transporte interesadas en estrategias de reconversión de flotas, y a sectores productivos que dependen del transporte de mercancías. El objetivo final es contribuir a la formulación de políticas públicas como al desarrollo de estrategias empresariales sostenibles.

Para analizar este problema, se aplicó la Dinámica de Sistemas (Pulido Cejudo, 2022) [3] como enfoque metodológico, dado que permite representar la complejidad de la interacción entre variables técnicas, económicas y ambientales a lo largo del tiempo.
El trabajo se enmarca en la asignatura Dinámica de Sistemas y busca contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular:

- ODS 7 (*Energía asequible y no contaminante*),
- ODS 9 (*Industria, innovación e infraestructura*),

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- ODS 11 (*Ciudades y comunidades sostenibles*),
- ODS 12 (*Producción y consumo responsables*),
- ODS 13 (*Acción por el clima*).

El objetivo principal de este estudio es construir un modelo de dinámica de sistemas que permita simular la evolución de la flota de transporte de carga en función de distintos niveles de adopción de GNC, evaluando sus efectos en términos de emisiones de $CO_2$ y estructura de la flota.

El trabajo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se presentan las simplificaciones y supuestos adoptados, junto con las variables relevantes y los diagramas causales. En la Sección 3 se expone el modelo de Forrester y las ecuaciones principales. En la Sección 4 se analizan los resultados de los distintos escenarios simulados. En la Sección 5 se mencionan trabajos relacionados y, finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

## Metodología y Desarrollo

### 1. Simplificaciones y suposiciones

Para el desarrollo del presente estudio se establecieron una serie de supuestos y simplificaciones (Robinson 2014) [4] metodológicas que delimitan el alcance del análisis. Se asume que todos los camiones considerados completan su vida útil sin experimentar fallas prematuras, y que su eficiencia energética se mantiene constante a lo largo del tiempo, salvo en aquellos escenarios donde se indique explícitamente lo contrario. La adopción de nuevas tecnologías se modela como dependiente de factores como los incentivos económicos disponibles, la existencia y accesibilidad de infraestructura adecuada, y la diferencia de costos operativos entre alternativas tecnológicas. Asimismo, no se contemplan impactos económicos externos tales como crisis financieras o procesos inflacionarios abruptos; en su lugar, se aplica un incremento anual arbitrario al precio de los combustibles, con una penalización proporcionalmente mayor para el diésel.

En cuanto a las simplificaciones adoptadas, la flota de camiones se representa como un sistema agregado, sin distinción entre marcas, modelos o configuraciones técnicas específicas. No se considera la renovación progresiva de la flota mediante la incorporación de vehículos nuevos antes de que los existentes hayan alcanzado el final de su vida útil. Además, los costos de mantenimiento asociados a cada tipo de camión no se incluyen en el análisis, dado que se asume una homogeneidad operativa en términos de desempeño y requerimientos técnicos.

### 2. Variables relevantes

Las variables de estado, que se encuentran en la tabla 1, representan los elementos fundamentales que describen la situación actual del sistema de transporte y sus emisiones. Son valores acumulativos o de conteo que cambian con el tiempo según la dinámica del sistema.

Tabla 1: Variables de Estado

| Variable | Descripción | Unidad |
|---|---|---|
| Emisiones acumuladas de $CO_2$ de Diesel | Total histórico de emisiones de $CO_2$ producidos por camiones Diesel | kg $CO_2$ |
| Emisiones acumuladas de $CO_2$ de GNC | Total histórico de emisiones de $CO_2$ producidos por camiones GNC | kg $CO_2$ |
| Cantidad de camiones Diesel | Número total de camiones Diesel | Camiones |
| Cantidad de camiones GNC | Número total de camiones GNC | Camiones |
| Cantidad de camiones Diesel en desuso | Número de camiones Diesel fuera de operación | Camiones |
| Cantidad de camiones GNC en desuso | Número de camiones GNC fuera de operación | Camiones |
| Demanda de expansión de transporte de carga | Porcentaje de crecimiento de la demanda de los | % |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Variable | Descripción | Unidad |
|---|---|---|
| | distintos tipos de camiones | |
| Ahorro en emisiones | Diferencia de emisiones entre GNC y Diesel | kg $CO_2$ |
| Costos operativos ahorrados totales | Diferencia de costos entre GNC y Diesel | $ |

En la tabla 2 se detallan las variables de salida, son aquellas que representan los resultados o indicadores clave que se desean analizar a partir de la simulación o del sistema modelado.

Tabla 2: Variables de Salida

| Variable | Descripción | Unidad |
|---|---|---|
| Emisiones anuales de $CO_2$ totales | Total de emisiones anuales de $CO_2$ de todos los camiones | kg $CO_2$ |
| Porcentaje de camiones GNC | Porcentaje de camiones que funcionan con GNC respecto del total | % |

Las variables exógenas son variables externas al sistema que afectan su comportamiento, pero no dependen de él. Generalmente se consideran como datos de entrada o parámetros fijos. Estas se encuentran documentadas en la tabla 3.

Tabla 3: Variables Exógenas

| Variable | Descripción | Unidad |
|---|---|---|
| Kilometraje anual promedio | Km recorridos en promedio por camión | km/camión |
| Costo del GNC | Precio de mercado del GNC | $/m³ |
| Costo del Diésel | Precio de mercado del Diésel | $/litro |
| Vida útil de los camiones Diesel | Período estimado durante el cual un camión Diesel opera eficientemente | Años |
| Vida útil de los camiones GNC | Período estimado durante el cual un camión GNC opera eficientemente | Años |
| Tasa de crecimiento de la demanda | Crecimiento del transporte de carga | % |
| Emisión de $CO_2$ por km recorrido de camiones Diesel | Emisiones de $CO_2$ por km de camiones Diesel | kg $CO_2$/km |
| Emisión de $CO_2$ por km recorrido de camiones GNC | Emisiones de $CO_2$ por km de camiones GNC | kg $CO_2$/km |

En la tabla 4 se describen las variables endógenas que dependen del sistema y se determinan a partir de la interacción entre las variables de estado, exógenas y las reglas de dinámica del modelo.

Tabla 4: Variables Endógenas

| Variable | Descripción | Unidad |
|---|---|---|
| Emisiones anuales de $CO_2$ de Diesel | Sumatoria de emisiones anuales de los camiones Diesel | kg $CO_2$/año |
| Emisiones anuales de $CO_2$ de GNC | Sumatoria de emisiones anuales de los camiones GNC | kg $CO_2$/año |
| Costo del Diesel respecto al GNC | Depende del costo del GNC y eficiencia de los camiones | $ |
| Tasa de adopción de | Nivel de madurez o | % |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| Variable | Descripción | Unidad |
|---|---|---|
| tecnologías limpias | aceptación del GNC | |
| Disponibilidad de infraestructura GNC | Nivel de infraestructura disponible para GNC | % |
| Incentivos gubernamentales | Porcentaje de apoyo según normativa y emisiones | % |
| Desuso de camiones GNC | Tasa de desuso de camiones GNC según su vida útil | camiones/año |
| Renovación de camiones GNC | Tasa de renovación de camiones GNC según los camiones en desuso | camiones/año |
| Nuevos camiones GNC | Nuevos camiones GNC según la demanda de transporte | camiones/año |
| Desuso de camiones Diesel | Tasa de desuso de camiones Diesel según su vida útil | camiones/año |
| Renovación de camiones Diesel | Tasa de renovación de camiones Diesel según los camiones en desuso | camiones/año |
| Nuevos camiones Diesel | Nuevos camiones Diesel según la demanda de transporte | camiones/año |
| Conversión a GNC | Tasa de conversión de camiones Diesel a GNC por año | camiones/año |
| Nuevos camiones GNC a partir del Diesel | Conversión de camiones Diesel en desuso a GNC según incentivos gubernamentales | camiones/año |

## 3. Diagrama Causal

A partir de las variables identificadas se construyó un diagrama causal que (Sterman, 2000) [5] permite visualizar las relaciones entre la adopción de GNC, la composición de la flota y las emisiones asociadas.

Se identificaron bucles de retroalimentación positivos y negativos que influyen en el sistema. Entre ellos se destacan:

Bucle de conversión a GNC: a mayor tasa de adopción, aumenta la cantidad de camiones a GNC, lo que a su vez reduce las emisiones de $CO_2$ y refuerza la viabilidad de la tecnología.

Bucle de renovación de flota diésel: la entrada de nuevos camiones diésel incrementa las emisiones, lo que contrarresta parcialmente los beneficios de la adopción de GNC.

Bucle de incentivos gubernamentales: políticas de estímulo generan un aumento en la tasa de adopción, acelerando la transición hacia tecnologías más limpias.

Las siguientes figuras presentan el diagrama causal, mostrando las variables más relevantes junto a sus asociaciones directas y en donde se representan los principales lazos de retroalimentación identificados.

La Figura 1 muestra la variable de la cantidad de camiones Diesel.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 1. Camiones diesel y sus relaciones.

La Figura 2 muestra la variable de la cantidad de camiones GNC.

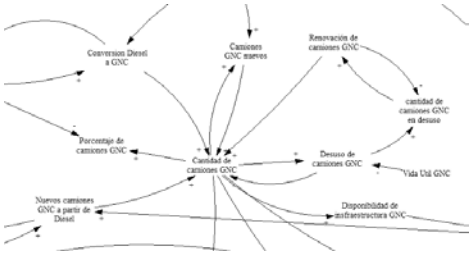



Figura 2. Camiones GNC y sus relaciones.

La Figura 3 muestra las variables relacionadas con los costos y las tasas de adopción a nuevas tecnologías.




Figura 3. Costos y tasa de adopción.

## 4. Diagramas de Forrester y ecuaciones

Con base en el diagrama causal (García, 2020) [6], se desarrolló un modelo de Forrester (Sterman, 2000) [7] que formaliza las relaciones entre las variables de stock y flujo.

Las variables de stock principales son:

- Cantidad de camiones diésel.
- Cantidad de camiones GNC.
- Emisiones acumuladas de CO2 de diésel / GNC.

Los flujos corresponden a:

- Conversión de diésel a GNC.
- Incorporación de nuevos camiones diésel / GNC.
- Renovación de flota diésel / GNC.
- Retiro de camiones diésel / GNC (desuso).

Y la variable endógena que determina la evolución del sistema es:

- Tasa de adopción de tecnologías limpias

Que se calcula a partir de 3 variables: incentivos gubernamentales, diferencial de costo de diésel respecto a GNC e infraestructura de GNC (por ejemplo, estaciones de servicio GNC).

Las siguientes figuras muestran el diagrama de Forrester con las interacciones entre los stocks y los flujos.
En la Figura 4 se ilustra las variables de stock de camiones diesel y sus flujos asociados.

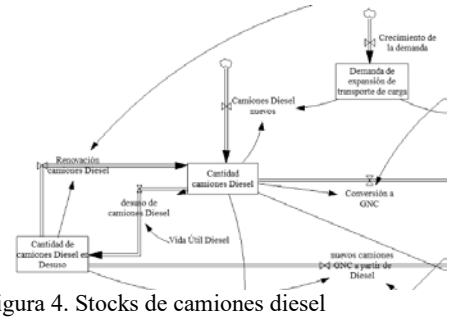



Figura 4. Stocks de camiones diesel

En la Figura 5 se muestran las variables de stock de camiones GNC y sus flujos asociados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



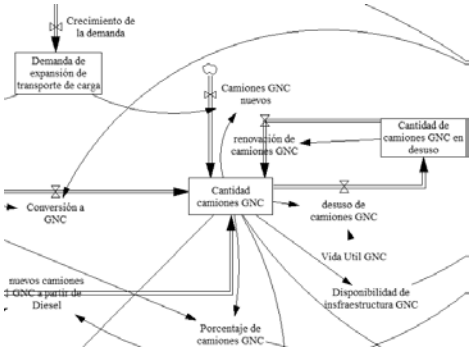


Figura 5. Stocks de camiones GNC

En la Figura 6 se muestran las variables de stock de emisiones acumuladas de CO2 y sus flujos asociados.


Figura 6. Stocks de emisiones de CO2

Las ecuaciones diferenciales se formularon a partir de las relaciones causales y permiten simular la evolución temporal del sistema. A modo de ejemplo, la ecuación que define la dinámica de camiones GNC es:
**Cantidad de camiones GNC:** Camiones GNC nuevos + Conversión a GNC + Nuevos camiones GNC a partir de Diesel + renovación de camiones GNC - Desuso de camiones GNC *[camiones]*

Cada uno de los términos definidos en la ecuación se encuentra desarrollado en la Tabla 4.

De manera análoga se definieron las ecuaciones para los camiones diésel y las emisiones acumuladas, incorporando las tasas de renovación y de adopción tecnológica.

## 5. Resultados

Se plantearon tres escenarios de simulación con un horizonte temporal de 30 años, considerando la evolución de la flota de transporte de carga y sus emisiones asociadas:

Escenario 1 (Actual): continuidad de las condiciones actuales, sin incentivos adicionales y con baja infraestructura de GNC inicial.

Escenario 2 (Incentivos gubernamentales): implementación de políticas de apoyo para la conversión a GNC: subsidios, desarrollo de infraestructura.

Escenario 3 (Escenario propuesto): Se plantea un escenario de mejoras tecnológicas que permiten aumentar la eficiencia ecológica de los camiones Diesel entre los años 10-20, junto con una gran disminución del costo del GNC en el año 15.

Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre escenarios:

En el Escenario 1, si bien se plantea el escenario actual en el país, con baja conversión a GNC, se observa un resultado bastante optimista llegando al 50 % de camiones GNC en el marco de 30 años. Las emisiones acumuladas de $CO_2$ presentan un crecimiento sostenido, ya que, aunque baje el porcentaje de camiones diésel, sube la cantidad de camiones total.

En el Escenario 2, la presencia de incentivos gubernamentales más fuertes genera un incremento mucho más pronunciado de camiones GNC, llegando al 83% de la cantidad total de camiones. Esto provoca una reducción moderada en el ritmo de crecimiento de las emisiones acumuladas.

En el Escenario 3, La mejora en la eficiencia de camiones diésel reduce considerablemente las emisiones, aunque no es un factor muy influyente en la tasa de conversión de diésel a GNC. En cambio, la caída en el precio del GNC es un factor muy

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



influyente para que aumente mucho la tasa de conversión. El porcentaje de camiones GNC llega al 63%. Se observa que es mucho mayor el impacto de menores precios de GNC que el de disminuir las emisiones del Diesel, y, además, con la mejora en la eficiencia de los camiones diésel, se convierten en menos contaminantes que los GNC.

La Figura 7 muestra la evolución de la flota por tipo de combustible en los tres escenarios, mientras que la Figura 8 presenta la evolución de las emisiones acumuladas de $CO_2$. En ambos casos, se observa que las políticas de incentivo y la disponibilidad de infraestructura son determinantes para alcanzar una transición efectiva hacia tecnologías más limpias.

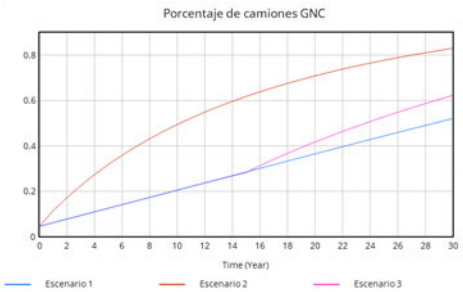


Figura 7. Evolución de la flota de camiones

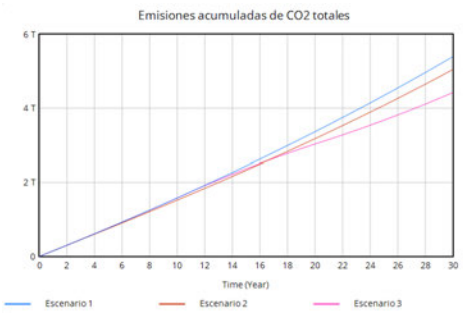


Figura 8. Gráfico evolución de emisiones

**Trabajos Relacionados**

El presente estudio se inspira en el trabajo presentado en el **XVII Congreso Internacional de Ingeniería Industrial (COINI 2024)** [8], donde se abordó el caso de estudio del transporte de carga en Argentina y sus emisiones de $CO_2$. Dicho trabajo permitió establecer una primera aproximación a la problemática.

Nuestro trabajo toma esta investigación para generar una simulación aplicando la dinámica de sistemas, adaptándola al contexto argentino actual y proponiendo escenarios adicionales que incluyen tanto incentivos como variaciones en los costos relativos de las tecnologías, enriqueciendo así la discusión sobre políticas públicas en la transición hacia un transporte más sostenible.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El modelo desarrollado permitió evaluar el impacto de distintas políticas y condiciones de mercado en la evolución de la flota de transporte de carga en Argentina, considerando un horizonte temporal de 30 años.

Los resultados muestran que:

- En la realidad actual (Escenario 1), la adopción de GNC es baja en un principio, pero se obtiene una conversión muy optimista en el plazo de 30 años, lo que evidencia que es posible lograr esta conversión si se toman las medidas necesarias.
- La implementación de incentivos gubernamentales (Escenario 2) acelera la adopción de GNC, alcanzando una participación mayoritaria en la flota y reduciendo parcialmente el ritmo de crecimiento de las emisiones.
- La combinación de mejoras tecnológicas en camiones diésel y la disminución del costo del GNC (Escenario 3) produce una mayor adopción de camiones GNC, mostrando que en nuestra simulación los precios relativos de los combustibles son más determinantes que la disminución de la contaminación de un tipo de combustible, lo que podría ser menos radical en la realidad.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



En conjunto, se confirma que las políticas de incentivo y el precio de cada combustible resultan esenciales para favorecer la transición hacia tecnologías de menor impacto ambiental.

Como trabajos futuros, se propone:

- Considerar una posible conversión contraria, de GNC a diésel, imaginando escenarios donde el diésel aumenta su eficiencia (como el escenario 3), o el costo del GNC es mayor al del diésel, los cuales que no fueron considerados al realizar el modelo para simplificarlo.

- Ampliar el modelo incorporando otras tecnologías emergentes, como camiones eléctricos o híbridos, así como biocombustibles e hidrógeno.

- Incluir variables económicas adicionales, como los costos de inversión en infraestructura y mantenimiento de flota.

- Considerar factores macroeconómicos (inflación, tipo de cambio, crisis energéticas) que pueden condicionar la viabilidad de las políticas.

El enfoque sistémico utilizado se presenta como una herramienta valiosa para la toma de decisiones en el ámbito de las políticas públicas y la planificación del transporte, contribuyendo al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible vinculados con energía, innovación, ciudades sostenibles y acción climática.

**Agradecimientos**
Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la profesora Rosana Marcela Portillo, por su valiosa guía, dedicación y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo. Su orientación y compromiso fueron fundamentales para el logro de nuestros objetivos.

**Referencias**

[1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. (2023, 20 de julio). *Avanzan con el relevamiento de emisiones de gases en el transporte de carga*. Gobierno de Argentina. https://www.argentina.gob.ar/noticias/avanzan-con-el-relevamiento-de-emisiones-de-gases-en-el-transporte-de-carga-1

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

[3] Pulido Cejudo, J. (2022). *Dinámica de sistemas: Alternativas prácticas*. Alfaomega.

[4] Robinson, S. (2014). *The practice of model development and use* (2nd ed.). Palgrave Macmillan.

[5] Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill Higher Education.

[6] García, J. M. (2020). *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas*. Independently published.

[7] Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill Higher Education.

[8] Gerstner, I., Oostdyk, F., & Vallejos, S. (2024). Transporte de carga en Argentina: Beneficios del cambio a GNC. XVII COINI 2024 – Congreso Internacional de Ingeniería Industrial, AACINI – UTN FRLP.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Diseño de un método de asignación de terrenos con infraestructura para la Comunidad Indígena Amaicha del Valle mediante modelos de programación lineal.

**Benitez, Santiago**
**Carlino, Luciano Ezequiel**
**de la Torre, Máximo César**
**Silvetti, Tomás**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Resumen**

*La Comunidad Indígena Amaicha del Valle, en Tucumán, constituye una de las pocas agrupaciones indígenas reconocidas oficialmente por el Gobierno argentino y propietaria legítima de sus tierras. De acuerdo con su Constitución Política, se reconoce como comunero a toda persona descendiente de sus miembros. Entre sus fines fundamentales se encuentra garantizar que las tierras sean adjudicadas a comuneros, con dimensiones mínimas indispensables para vivienda o producción].*
*Actualmente, la comunidad dispone de aproximadamente 52.000 hectáreas. No obstante, la asignación de dichos terrenos carece de un procedimiento planificado que permita optimizar el uso del suelo, asegurar una urbanización ordenada y garantizar el acceso equitativo a servicios básicos para todos los habitantes.*

*Este trabajo tiene como objetivo, utilizando modelos de programación lineal, encontrar la forma óptima de asignar estos terrenos, buscando una mejor planificación de crecimiento de la comunidad. Además, minimizando los costos de instalar y conectar los servicios básicos en estos territorios comunitarios, maximizando las contribuciones a la comunidad, tanto económica como productivamente, a través del cobro ordenado de las rentas comunitarias.*

*De esta manera, se busca establecer un sistema de distribución territorial que no solo satisfaga las necesidades individuales de vivienda y producción, sino que también fortalezca la sostenibilidad económica y el desarrollo comunitario sustentable en la Comunidad Indígena.*

**Palabras Clave**

Comunidad Indígena Amaicha del Valle, Programación lineal multiobjetivo, Programación por metas, Asignación de terrenos, Desarrollo sustentable. Sector/Parcela. Subparcela/Lote.

## 1. Introducción

La Comunidad Indígena de Amaicha del Valle enfrenta actualmente el desafío de optimizar la asignación de sus tierras comunitarias [1]. Esta comunidad, reconocida oficialmente, posee autonomía para decidir el uso de **16 sectores productivos** [2] ubicados en la localidad **"Los Zazos" [**4], con una disponibilidad total aproximada de 70 hectáreas (Ver Anexo 1). Cada sector presenta características específicas. (Ver Anexo 2).

A partir de entrevistas realizadas al Cacique Horacio Emanuel Díaz [5] y del análisis de fuentes históricas [6], se identificaron cuatro categorías productivas viables:

1. Cultivos de altura (viticultura y fruticultura)
2. Cultivos de ciclo corto (horticultura y plantas aromáticas)
3. Ganado menor tradicional (caprinos y ovinos)
4. Ganado especializado (bovinos y camélidos)

Cada una de estas categorías presenta distintos requerimientos de consumo de agua y energía eléctrica. (Ver Anexo 3).

Desde la represa los Zazos llega el agua para riego y para consumo. En agua de riego existe el sistema mixto de sistema presurizado y agua por

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



acequias. Se estima que solo el sistema tradicional de acequias brinda un caudal de aproximadamente 750.000 litros por hectárea por semana para las categorías productivas señaladas [7]. Por otra parte, según el consumo promedio de energía eléctrica de kWh/bimestral [8], se estima necesario una disponibilidad de hasta 130.000 kWh anuales de energía eléctrica, para las diferentes categorías productivas. Estas cifras permiten establecer límites aproximados para la planificación productiva. (Ver Anexo 4).

La renta comunitaria representa el aporte económico mensual destinado al sostenimiento de la infraestructura necesaria para las actividades productivas.

El problema se enmarca en la *necesidad de asignar las tierras considerando la cercanía a acequias para riego de las categorías agrícolas y el promedio de parcelas mínimo que debería tener cada actividad económica* [6].

Por lo tanto, los objetivos son determinar una asignación óptima que maximice la renta comunitaria sostenible y al mismo tiempo, minimizar los costos de instalación de servicios básicos. Se buscará reducir las desviaciones respecto al costo mínimo de habilitación de servicios y a la máxima rentabilidad posible, manteniendo siempre la sostenibilidad del sistema productivo. El no cumplimiento de cada meta tendrá un valor de 1 por cada peso que se desvíe del valor óptimo.

Por otro lado, se debe resolver la distribución óptima de lotes en el barrio **"El Mirador"**, destinado a uso habitacional. Este barrio contiene 10 sectores, a subdividir, con características diferenciadas de superficie mínima de lotes y distribución de lotes. (Ver Anexo 6). La disponibilidad total asciende a aproximadamente 15 hectáreas [9]. La distribución de los sectores estará a cargo del arquitecto comunitario, quien deberá procurar maximizar la cantidad de lotes contiguos por manzana, de modo que se favorezca un desarrollo urbano integrado [9].

El cacique ha definido cuatro categorías habitacionales [5]:

1. Residencias permanentes para pobladores locales
2. Residencias vacacionales
3. Residencias productivas (vivienda con actividad agropecuaria)
4. Locales comerciales para servicios, los cuales deben ubicarse en esquinas

En la adjudicación de terrenos habitacionales, se consideran distintos niveles de consumo de agua potable que dependen de la disponibilidad del pozo de agua del predio de Pachamama; y consumo de energía eléctrica teniendo en cuenta capacidad energética disponible. (Ver Anexo 7,8,9).

Este barrio cuenta con infraestructura de agua y energía presentes, los costes de estos servicios básicos están relacionados a autorizaciones, instalación de equipos de medición, y conexión a la infraestructura presente.

El pozo de agua del predio de Pachamama, funciona con una bomba de 10HP capaz de extraer 55.000 litros por hora [10]. Se estima una disponibilidad aproximada de 3.300.000 litros por mes de agua potable; el cual abastece a la zona del Mirador. Por otro lado, se considera una capacidad energética de hasta 46.700 kWh bimestrales, basada en los niveles de consumo promedio bimestral de energía eléctrica, según boletas de EDET. S.A. [11]. Esta estimación sirve como marco para analizar las posibilidades de desarrollo habitacional en distintas categorías, teniendo en cuenta las restricciones de servicios básicos.

Cada lote debe abonar una renta comunitaria de forma anual o mensual, determinada por la categoría que integre. (Ver Anexo 10).

Para garantizar que todos los tipos de viviendas existan, no puede haber más de 5 sectores asignados como residenciales, y del resto debe haber al menos 1.

Los objetivos son minimizar los costos de instalación de servicios básicos, maximizar la renta comunitaria derivada del uso de los lotes y, además, promover el emprendimiento maximizando las viviendas productivas.

Cada vivienda productiva genera un valor a la comunidad. El más conocido es el de las uvas para la bodega comunitaria. Este valor está calculado en $200000 por mes [12]. El resto de las metas tienen una penalización de 1, es decir, 1 valor de penalización por cada peso de rentas que esté por debajo de la renta máxima obtenible; y 1 valor de penalización por cada peso de costos que esté por encima del mínimo costo posible.

Ambos problemas se enmarcan en un sistema de optimización multiobjetivo [3] que prioriza la sostenibilidad económica, la eficiencia en el uso de recursos y el fortalecimiento de las capacidades productivas y residenciales de la comunidad indígena.

La solución propuesta debe mantener la viabilidad económica del proyecto mientras maximiza la eficiencia en el uso de la infraestructura existente.

## 2. Desarrollo

**Modelo por metas para la asignación de terrenos productivos - Los Zazos**

En este modelo se definieron 16 sectores y cuatro tipos de actividad productiva que pueden tener.

Las **variables de decisión** serán entonces

$$x_{ij} \; \forall \; i \leq 16 \; \wedge \; j \leq 4$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Esto se entiende como $x_{ij}$ es el sector i asignado a la categoría productiva j

**Restricciones**

Cada categoría j consumirá una aproximada cantidad de agua de riego:

$$Agua_i[litros/semana] = \sum_j x_j * Consumo\ de\ agua_j\ [litros/semana\ ]$$

El consumo de agua debe ser menor a la cantidad especificada [13]:

$$\sum_i Agua_i[litros/semana] \leq 120.000.000\ [litros/semana]$$

Cada tipo de actividad j también consumirá una aproximada cantidad de energía eléctrica, teniendo en cuenta los equipos usados en cada una [8]:

$$Energía_j\ [KWh/año] = \sum_j x_j * consumo\ de\ energía_j\ [KWh/año\ ]$$

Hay una capacidad eléctrica máxima instalada de 130.000 KWh anuales.

$$\sum_i Energía_i\ [KWh/año] \leq 130.000\ [KWh/año]$$

Se debe destinar al menos 600 parcelas a cultivo en altura.

$$\sum_i x_{i1} * parcelas_i[parcela]\ \geq 600\ [parcela]$$

Se debe destinar al menos 200 parcelas a cultivos de ciclo corto

$$\sum_i x_{i2} * parcelas_i[parcela]\ \geq 200\ [parcela]$$

Se debe destinar al menos 400 parcelas crías de ganado menor

$$\sum_i x_{i3} * parcelas_i[parcela]\ \geq 400\ [parcela]$$

Se debe destinar al menos 150 parcelas crías de ganado especializado

$$\sum_i x_{i4} * parcelas_i[parcela]\ \geq 150\ [parcela]$$

Cada sector debe tener una sola categoría, por lo que para cada sector i tendremos esta restricción

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

El promedio de las distancias de los cultivos en altura a la acequia no puede superar los 10 metros:

$$\sum_i (x_{i1} * Cercanía\ a\ acequia) \leq 160\ [metros]$$

El promedio de las distancias de los cultivos de ciclo corto a la acequia no puede superar los 10 metros:

$$\sum_i (x_{i2} * Cercanía\ a\ acequia) \leq 160\ [metros]$$

Cada sector i incurrirá en un coste de instalación y conexión a la red de agua, que dependerá de la distancia a la acequia[14]:

$$CAS_i\ [\$] = \sum_j x_{ij} * Costo\ por\ metro_j [\$/metro] * Distancia\ a\ acequia_i [metros]$$

En cuanto a la energía eléctrica, se calcula un costo de construir la infraestructura y para conectarlo a la red, que depende de la distancia a la línea principal instalada [15]:

$$CES_i\ [\$] = \sum_j x_{ij} * Costo\ por\ metro_j\ [\$/metro] * Distancia\ a\ tendido_i [metros]$$

Para cada tipo de actividad existe un valor de renta comunitaria distinto. Para el total de la renta comunitaria pagada por cada sector se tiene en cuenta las parcelas que tiene (Ver Anexo 4):

$$RS_i\ [\$] = \sum_j x_{ij} * parcelas_i\ [parcelas] * Renta\ comunitaria_j\ [\$/parcela]$$

**Objetivos:**

Minimizar el costo de cada servicio, resultando en

$$Z1_{min}\ [\$] = \sum_i (CES_i\ [\$] + CAS_i\ [\$])$$

Maximizar la renta recaudada por la comunidad:

$$Z2_{max}\ [\$] = \sum_i RS_i\ [\$]$$

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A partir de los resultados de estas funciones se obtienen los valores de las **metas**. La función objetivo final será minimizar las penalizaciones por no cumplir estas metas:

$$Z3_{min} = dC^+ + dR^-$$

El desarrollo en solver de este modelo se encuentra en [16].

**Modelo por metas para la asignación de terrenos habitacionales - El Mirador**

En este modelo tenemos 10 lotes y cuatro tipos de viviendas disponibles.

Nuestras **variables de decisión** serán entonces

$$x_{ij} \; \forall \, i \leq 10 \; \wedge \; j \leq 4$$

Esto se entiende como $x_{ij}$ es el sector i asignado a la categoría habitacional j

**Restricciones:**

Cada lote i consumirá una determinada cantidad de agua, determinada por el tipo de vivienda y cuantas viviendas de estas entren en el lote [17]:

$$Agua_i \left[\frac{litros}{mes}\right] = \sum_j x_{ij} * Viviendas\ por\ lote_j\ [viviendas] * Consumo\ por\ tipo_j [litros/mes/vivienda]$$

Decidimos que la cantidad máxima está dada por la bomba del predio de la Pachamama.

$$\sum_i Agua_i [litros/mes] \leq 3.300.000\ [litros/mes]$$

Cada lote i también consumirá una determinada cantidad de energía eléctrica, determinada por el tipo de vivienda (Ver Anexo 8).:

$$Energía_i \left[\frac{KWh}{bimestre}\right] = \sum_j x_{ij} * Viviendas\ por\ lote_j\ [viviendas] * Consumo\ por\ tipo_j \left[\frac{\frac{KWh}{bimestre}}{vivienda}\right]$$

También decidimos usar menos electricidad del promedio.

$$\sum_i Energía_i\ [KWh/bimestre] \leq 46.700\ [KWh/bimestre]$$

Cada lote debe tener una sola categoría, por lo que para cada lote i tendremos esta restricción

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

Se debe destinar como mucho 5 sectores a viviendas permanentes:

$$\sum_i x_{i1} \leq 5$$

Al menos debe haber 1 sector de cada una de las otras viviendas, con k perteneciente a {2, 3, 4}

$$\sum_i x_{ik} \geq 1$$

El costo de energía dependerá de la distancia a los postes instalados en el barrio [15]. Cada sector i será:

$$CEL_i\ [\$] = \sum_j x_{ij} * Costo\ de\ conexión_j\ [\$]$$

El costo de agua dependerá de la distancia a la red, además de un costo fijo por medidor y conexión [14]. Cada sector i será:

$$CAL_i\ [\$] = Costo\ por\ metro\ [\$/m] * Distancia\ a\ red_i\ [m] + Costo\ conexión\ [\$]$$

El costo del pozo séptico ($CPSL_i$depende del tipo de suelo y del tamaño del lote. Para cada uno se explica el cálculo en [18]

También tendremos una renta determinada por lote, la cual dependerá del tipo de vivienda, y cuantas viviendas de ese tipo entren en el lote:

$$RL_i\ [\$] = \sum_j x_{ij} * Renta\ comunitaria_j\ [\$/lote] * Lotes_j\ [lote]$$

**Objetivos:**

Minimizar el costo de cada servicio, resultando en

$$Z1_{min}\ [\$] = \sum_i CEL_i\ [\$] + CAL_i\ [\$] + CPSL_i\ [\$]$$

Maximizar la renta recaudada por la comunidad:

$$Z2_{max}\ [\$] = \sum_i RL_i\ [\$]$$

Maximizar los lotes asignados a viviendas productivas:

$$Z3_{max}\ [\$] = \sum_i x_{i3}$$

A partir de los resultados de estas funciones se obtienen los valores de las **metas**. La función

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



objetivo final será minimizar las penalizaciones por no cumplir estas metas:

$$Z4_{min} = C^+ + R^- + P^-$$

El desarrollo en solver de este modelo se encuentra en [19].

## 3. Conclusión y Trabajos Futuros

El modelo programación multiobjetivo para producción, Los Zazos, arrojó un costo total de infraestructura minimizado de $13.689.000, representando una inversión única para habilitar los servicios productivos. Esta inversión generaría una renta comunitaria total anual maximizada de $718600.

Las metas enunciadas en el Modelo por metas para la asignación de terrenos productivos pueden cumplirse si asignamos 6 sectores (1,2,3,4,8,15) a cultivo de altura, 3 sectores (6,7,9) a cultivos de ciclo corto, 6 sectores (5,10,12,13,14,16) a ganado menor tradicional, y por último 1 sector (11) a ganado especializado.

Las desviaciones respecto a los objetivos planteados son nulas, por lo que puede considerarse que ambos objetivos fueron alcanzados satisfactoriamente.

Continuamos con el desarrollo del modelo de programación multiobjetivo para viviendas, El Mirador. Se obtuvo una asignación óptima y equilibrada de 2 sectores (6,10) a residencia permanente, 1 sector (9) a residencia vacacional, 6 sectores (1,2,3,5,7,8) a residencia productiva, y también 1 sector (4) a local comercial.

Respecto a las metas, no se cumple la meta 1 de que los costos se mantengan por debajo de $2644017,244, por una desviación por arriba de la meta de $59296,47(dC+); la meta 2 de rentas que sean al menos de $2035000 no se cumple por $765000 por debajo de la meta; y, por último, la meta 3 de viviendas productivas sean mayor a 11, con penalidad de $200000 no se cumple por una desviación de 4 viviendas productivas que faltan para llegar meta, equivalente a $800000. En otras palabras, en el modelo de programación de metas se obtuvo costos de infraestructura y servicios básicos por $2703313,714, una renta comunitaria de $1270000 y 7 viviendas productivas por un valor equivalente a $1400000 mensual, como valores finales para el barrio El Mirador.

La implementación de modelos de programación lineal para maximizar beneficios y minimizar desventajas en la planificación de infraestructura para nuevos territorios productivos y habitacionales demuestran que la comunidad de Amaicha puede expandirse tanto territorialmente en El Mirador como en productividad en Los Zazos.

Mediante el presente trabajo, se observó dos problemas históricos de Amaicha del Valle: la asignación de tierras comunitarias y el problema del recurso del agua. Se demostró que ambas problemáticas están interrelacionadas, ya que para la población crece y se debe equilibrar la distribución del recurso escaso del agua para que alcance para todos.

Respecto al agua de riego, en los Zazos si se conectara una extensión del sistema presurizado de riego por goteo al terreno y sus sectores señalados en el documento, se optimizaría el uso del agua en un 60% para el riego de cultivos de altura. Esto generaría un alivio a la acequia que provee de agua de riego a esta zona, permitiendo expandir y optimizar el uso del agua en los sectores productivos. [7]

Por otra parte, en referencia al agua potable, tanto para la zona de los Zazos como para el Mirador, si funcionara la nueva planta potabilizadora, la cual se encuentra en un 70% de obra en construcción, optimizaría un 70% el uso del agua y no sería necesario utilizar más los pozos de agua para consumo, salvo para un funcionamiento mínimo en caso de sobredemanda en temporada alta de turismo o en su defecto, por cuestiones de poco caudal en la represa los Zazos; obteniendo, en efecto, menor contaminación ambiental al no utilizar las bombas a combustión que utilizan los pozos de agua y en congruencia con el cuidado ambiental del Pueblo de Amaicha del Valle. [20]

En resumen, el trabajo de campo realizado, que constituye una base adaptable y escalable, con la implementación correcta, podría impulsar el crecimiento productivo, habitacional y turístico de Amaicha del Valle.

## 4. Referencias

[1] Constitución Política de la Comunidad Indígena Amaicha del Valle, art. 28, 26, 1, respectivamente. https://drive.google.com/file/d/1eX3fcEuK88DRXO2b8tg2YFEl2YOSb6Sg/view?usp=drive_link

[2] DECRETO LEY No 99/158/17, CATASTRO PARCELARIO. https://drive.google.com/file/d/14NKcCUq3-16N4sId-bAjlBHMDKPsaXaF/view?usp=sharing

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[3] Solow, D. & Mathur, K. (1996). Investigación de operaciones (1.ª ed.). Prentice-Hall Hispanoamérica.

[4] Los Zazos.
https://maps.app.goo.gl/1h4g4E8XwFpokFh97
[5] Entrevista con Horacio Diaz, Cacique CIAV.
https://youtu.be/Zx9ZE9PcA9M

[7] Llamadas con cacique Horacio Diaz
https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1VcJ-NGXiUtV9b-dvbjt_iEsqYiUgiiO7

[6] categorías productivas
https://drive.google.com/file/d/1aJs829p20iqmeEzw-K_sg9Sbz3Ek2Rg9

[8] Análisis de consumo de electricidad en los zazos.https://docs.google.com/document/d/1aZUFnGH_Sq22OLQ1fj6NmyhumR1_zRY9

[9] Barrio El Mirador.
https://maps.app.goo.gl/6NmnabGZfyhM5Qai9

[10] Caudal de pozo de agua – predio la Pachamama.
https://drive.google.com/drive/u/0/folders/12vaDVFCVH9zUYSS4nZ9-XcgThWrC6WIe

[11] Consumo de electricidad en el mirador.https://drive.google.com/drive/folders/1TwwRIHHXMYLqchWY_lJObe6w6gdWVSBP

[12] Valor de una vivienda productiva
https://docs.google.com/document/d/1Nxp5MeDhXLEV7a55YsZ9n5dv-QQ81nAHROpxPqlHXZk

[13] Consumo de agua de riego, los Zazos.
https://docs.google.com/document/d/1BrBWWQzRfePCbjKV0Udz0IjwZsPROZzZCclDQnXM7v0

[14] Costos conexión de agua: los Zazos y Mirador
https://docs.google.com/document/d/1acPdl8QWTzj0QiyXTYNpBfapcM2tya5j

[15] Costo conexión eléctrica: Zazos y Mirador
https://docs.google.com/document/d/1DAKCfWNINLy3maYzGb2zdpmFrxTEkHLc-YHM7Rp6Wc8

[16] Desarrollo modelo por metas - Productivo
https://docs.google.com/spreadsheets/d/18mjtz8jVvN0LeqzmtWOcqSZukBvxUmBj

[17] Consumo de agua potable: Viviendas.
https://docs.google.com/document/d/13A7l9aHY7qPSLs_eiqqFdENQEav7rbjW/edit
[18] Cálculo de costo de pozo séptico
https://docs.google.com/document/d/1Y0rvfxQqRpIumsOI5xiYPeU24lazKcCwtIUv4GjBO_Y
[19] Desarrollo modelo por metas - Viviendas
https://docs.google.com/spreadsheets/d/10HOMN7gLPONDaYu3jgbxSoZe1I6y643A

[20] Obra de nueva planta potabilizadora.
https://docs.google.com/document/d/163REzAJ0PZtmsDyT1xIpUpf7AOvQl5Qu1JFbaD5qJok/edit?tab=t.0

**Agradecimientos**

Docente Ing. Guadalupe Gramajo, por sus reiteradas retroalimentaciones constructivas. Docente Ing. Cristina Rojas, por su ayuda de enfoque en trabajo de investigación. Docente Álvaro Fraga, por sus excelentes clases de Investigación Operativa. Cacique Horacio Díaz, por sus valorable disposición y aporte de información valiosa. Ing. Elena Nieva, por su gran colaboración. Isabel Pastrana, comunera, por su aporte de importante información.

.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Anexos

Anexo 1

**Figura 1: 16 sectores marcados en los Zazos**



Anexo 2

**Tabla 1.** ***Características de los Sectores Territoriales - Los Zazos***

| Sector | Cantidad de Subparcelas | Cercanía a acequia [m] |
|---|---|---|
| 1 | 55 | 5 |
| 2 | 72 | 2 |
| 3 | 112 | 3 |
| 4 | 130 | 30 |
| 5 | 131 | 33 |
| 6 | 140 | 29 |
| 7 | 103 | 17 |
| 8 | 57 | 19 |
| 9 | 80 | 22 |
| 10 | 86 | 24 |
| 11 | 196 | 19 |
| 12 | 82 | 129 |
| 13 | 81 | 128 |
| 14 | 78 | 134 |
| 15 | 94 | 126 |
| 16 | 101 | 125 |

Anexo 3

**Tabla 2.** ***Consumo de Recursos por Categoría Productiva - Los Zazos***

| Categoría | Consumo Agua de riego (litros/mes/100m2) | Consumo Energía eléctrica (KWh/año) |
|---|---|---|
| Cultivo en Altura | 25000 | 8500 |
| Cultivo Corto | 18000 | 12000 |
| Ganado Menor | 2400 | 3200 |
| Ganado Especializado | 2400 | 18500 |

Anexo 4

**Tabla 3.** ***Cantidad de Subparcelas mínimas por sector, renta comunitaria por cada categoría - Los Zazos***

| Actividad Productiva | Subparcelas Mínimas | Renta Comunitaria ($/parcela) |
|---|---|---|
| Cultivo Altura | 600 | 300 |
| Cultivo Corto | 200 | 400 |
| Ganado Menor | 400 | 600 |
| Ganado Especializado | 150 | 500 |

Anexo 5

Figura 2: Barrio el Mirador sectorizado



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Anexo 6

**Tabla 4.** ***Sectores - El Mirador***

| Sectores | superficie/ Sector (m2) | cantidad de lotes: lote categoria 1 | lote categoria 2 | lote categoria 3 | lote categoria 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| sector1 | 3272 | 10 | 6 | 2 | 6 |
| sector2 | 1550,18 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| sector3 | 1855,66 | 6 | 3 | 1 | 3 |
| sector4 | 2073,23 | 6 | 4 | 1 | 4 |
| sector5 | 1606,11 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| sector6 | 3901,85 | 13 | 7 | 2 | 7 |
| sector7 | 1570,94 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| sector8 | 1681,16 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| sector9 | 1526,17 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| sector10 | 4456,59 | 14 | 8 | 2 | 8 |

Anexo 7

**Tabla 5.** ***Consumo de Agua Potable - Pozo de agua: Predio de la Pachamama (litros/ mes) - El Mirador***

| Sectores | lote categoria 1 | lote categoria 2 | lote categoria 3 | lote categoria 4 |
|---|---|---|---|---|
| sector 1 | 120000 | 36000 | 24000 | 90000 |
| sector 2 | 60000 | 18000 | 12000 | 45000 |
| sector 3 | 72000 | 18000 | 12000 | 45000 |
| sector 4 | 72000 | 24000 | 12000 | 60000 |
| sector 5 | 60000 | 18000 | 12000 | 45000 |
| sector 6 | 156000 | 42000 | 24000 | 105000 |
| sector 7 | 60000 | 18000 | 12000 | 45000 |
| sector 8 | 60000 | 18000 | 12000 | 45000 |
| sector 9 | 60000 | 18000 | 12000 | 45000 |
| sector 10 | 168000 | 48000 | 24000 | 120000 |

Anexo 8

**Tabla 6.** ***Consumo de energía eléctrica (Kwh/bimestral) - El Mirador***

| Sectores | lote categoria 1 | lote categoria 2 | lote categoria 3 | lote categoria 4 |
|---|---|---|---|---|
| sector1 | 4240 | 1302 | 848 | 18894 |
| sector2 | 2120 | 651 | 424 | 9447 |
| sector3 | 2544 | 651 | 424 | 9447 |
| sector4 | 2544 | 868 | 424 | 12596 |
| sector5 | 2120 | 651 | 424 | 9447 |
| sector6 | 5512 | 1519 | 848 | 22043 |
| sector7 | 2120 | 651 | 424 | 9447 |
| sector8 | 2120 | 651 | 424 | 9447 |
| sector9 | 2120 | 651 | 424 | 9447 |
| sector10 | 5936 | 1736 | 848 | 25192 |

Anexo 9

**Tabla 7.** ***Características de los Sectores Habitacionales - El Mirador***

| Sector | distancia red pozo de agua desde calles internas hasta sectores (metros) |
|---|---|
| 1 | 10 |
| 2 | 15 |
| 3 | 10 |
| 4 | 10 |
| 5 | 10 |
| 6 | 10 |
| 7 | 10 |
| 8 | 10 |
| 9 | 10 |
| 10 | 10 |

Anexo 10

**Tabla 8.** ***Valores de renta comunitaria - El Mirador***

| **Categoría** | **Valor de renta anual [$]** |
|---|---|
| Residencias Permanentes | 35000 |
| R. Vacacionales | 15000 |
| R. Productivas | 20000 |
| L. Comerciales | 35000 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Diseño e implementación de un robot a tracción diferencial

*Russell, Sabrina[1]; Paiz, Franco[1]; Román Bond[1], Martín Morales[1,2], Diego Encinas[1,3],*

*[1]Proyecto SimHPC - TICAPPS, Universidad Nacional Arturo Jauretche - Instituto de Ingeniería y Agronomía.*
*[2]Unidad CodApli - Facultad Regional La Plata - UTN.*
*[3]Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) - Facultad de Informática - UNLP - Centro Asociado CIC.*

**Abstract**

*Este informe detalla el desarrollo de un robot móvil diferencial como trabajo integrador de la materia "Programación en Tiempo Real". El objetivo fue construir un sistema embebido capaz de reaccionar ante estímulos del entorno en tiempo real, utilizando componentes físicos y enfrentando así desafíos reales de sincronización, control y comunicación.*

*El robot fue diseñado con una arquitectura de dos ruedas motrices y una rueda de apoyo, controlado por una placa Arduino Uno. Incluye un sensor ultrasónico para la detección de obstáculos, un módulo Bluetooth HC-05 para conectividad inalámbrica, motores DC gestionados mediante un puente H L298N, y un buzzer como sistema de alerta sonora. Se implementaron cuatro funcionalidades principales: evasión de obstáculos, alarma de intrusos, seguimiento de objetos y control remoto desde una app Android.*

*La aplicación móvil fue desarrollada en Android Studio utilizando Java, e incorpora un joystick táctil para controlar el movimiento del robot. Se estableció comunicación Bluetooth que permite enviar comandos y coordenadas al microcontrolador en tiempo real.*

*El diseño físico del robot se completó con una carcasa impresa en 3D, modelada en Fusion 360. Se realizaron múltiples pruebas con distintas versiones del prototipo hasta lograr una implementación robusta y funcional. Además, se justificó el uso de Arduino Uno sobre ESP32 por su simplicidad, estabilidad energética y compatibilidad con los componentes seleccionados.*

*El informe concluye con una evaluación técnica de los resultados y una reflexión sobre el aprendizaje obtenido a lo largo del proceso de construcción e implementación.*

**Palabras Clave**

Robot - Arduino - Control Remoto - Tracción Diferencial - Tiempo Real

## Introducción

En el marco de la asignatura Programación en Tiempo Real, se propuso el desarrollo de un proyecto integrador que permitiera aplicar los conceptos teóricos abordados durante la cursada en una situación práctica. Como desafío, se planteó la construcción de un sistema embebido orientado al control de un robot móvil capaz de interactuar con su entorno en tiempo real, respondiendo de forma autónoma y precisa a distintos estímulos.

Este trabajo tiene como eje central el uso de sensores y actuadores físicos, y la implementación de un sistema de comunicación robusto entre hardware y software. La elección de un entorno físico, en lugar de uno simulado, permitió enfrentar condiciones reales de operación, tales como interferencias, limitaciones energéticas y sincronización de tareas bajo restricciones temporales.

El desarrollo involucra tanto aspectos de electrónica y programación como diseño mecánico y desarrollo de software móvil, buscando integrar múltiples áreas del conocimiento en un producto funcional. A lo largo del informe se detalla el proceso de diseño, implementación, pruebas y análisis de resultados que dieron forma al sistema final.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Funcionalidades**

El sistema desarrollado incorpora diversas funcionalidades que amplían sus capacidades y lo hacen adaptable a distintos escenarios de uso. Cada una de estas funciones combina sensores, actuadores y controladores programados para ofrecer un comportamiento autónomo o controlado de forma remota. A continuación, se detallan las funcionalidades implementadas en el proyecto.

**Evitar obstáculos**

El robot cuenta con la capacidad de detectar obstáculos en su trayectoria y, en caso de encontrarse con uno, modifica su dirección de forma autónoma para evitar colisiones y continuar su desplazamiento de manera segura. Para lograr esta funcionalidad, se utiliza un sensor ultrasónico, el cual emite ondas sonoras de alta frecuencia que rebotan en los objetos cercanos. Al medir el tiempo que tarda la onda en regresar, el robot calcula la distancia al obstáculo. Si esta distancia es menor a un umbral definido, el sistema activa una maniobra de evasión, cambiando su dirección para evitar impactos. Este método permite al robot reaccionar en tiempo real ante cambios en su entorno.

**Alarma de intrusos**

El modo vigilancia consiste en permanecer en una posición fija y activar una señal sonora mediante un zumbador cuando detecta movimiento en su entorno, funcionando como un sistema de alerta ante posibles intrusiones. A medida que el objeto o persona se aproxima, la frecuencia de los sonidos emitidos por el zumbador aumenta, generando pulsos cada vez más rápidos. Este comportamiento permite no solo advertir la presencia de movimiento, sino también estimar la cercanía del intruso, ofreciendo un sistema de alerta progresivo en función de la distancia.

**Seguimiento**

El modo de seguimiento de objeto utiliza un sensor de ultrasonido para detectar la distancia respecto a un objeto ubicado frente a él. En esta modalidad, el sistema busca mantener una distancia constante con el objeto, acercándose o alejándose de manera automática para respetar un margen previamente definido. El robot sólo se desplazará si el objeto se encuentra a una distancia menor que la distancia límite definida; en caso contrario, permanecerá inmóvil hasta que se detecte nuevamente una presencia dentro del rango permitido. Este comportamiento le permite seguir de forma controlada a una persona u objeto en movimiento, reaccionando según su proximidad.

**Control remoto**

Puede ser operado de forma remota a través de una aplicación móvil desarrollada específicamente para este proyecto, permitiendo controlar sus movimientos y modos de funcionamiento de manera inalámbrica. La interfaz de la aplicación incorpora un joystick virtual que facilita el manejo intuitivo del robot, permitiendo al usuario dirigirlo en tiempo real hacia cualquier dirección con precisión. Además del control de desplazamiento, la app también brinda acceso a los distintos modos de operación, como el seguimiento de objetos o el modo vigilancia, ofreciendo una experiencia de uso completa y personalizada desde cualquier dispositivo móvil compatible.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Desarrollo de la aplicación móvil**

La aplicación móvil "Joystick App", desarrollada en Android Studio con el lenguaje de programación Java, se conecta al módulo Bluetooth (HC-05) emparejado con el microcontrolador Arduino del robot. Su arquitectura se centra en una interfaz de usuario interactiva (Joystick y botones) y un sistema de comunicación Bluetooth que opera en hilos separados para asegurar la fluidez de la aplicación.

**Flujo de conexión y comunicación bluetooth**

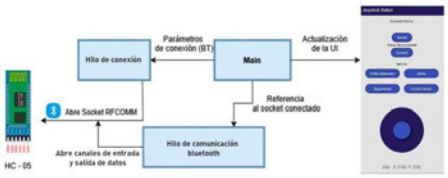



Figura 1. Flujo de conexión bluetooth

En la figura 1 se muestra el proceso de comunicación Bluetooth entre la aplicación móvil y el módulo HC-05 del robot.
La comunicación se inicia cuando la aplicación, a través de la actividad principal (MainActivity), crea un hilo de conexión encargado de establecer el enlace con el módulo Bluetooth del robot. Una vez que la conexión se establece correctamente, la información del socket se devuelve a la actividad principal, que a su vez crea un hilo de comunicación Bluetooth.
Este hilo habilita los canales de entrada y salida (InputStream/OutputStream), lo que permite el intercambio continuo de datos entre la aplicación y el robot.
La aplicación integra un JoystickView, que traduce los movimientos del usuario en coordenadas y direcciones. Estos valores se transforman en comandos que son enviados al robot a través de la conexión Bluetooth.
Finalmente, la interacción entre los hilos de comunicación y la interfaz gráfica se gestiona mediante un Handler, el cual actualiza la información en pantalla y notifica al usuario en tiempo real.

**Mecanismos de comunicación**

La app tiene diferentes formas de comunicarse entre sus partes. El Handler se encarga de compartir los mensajes entre el Bluetooth y la pantalla principal de la app, asegurándose de que la información se actualice correctamente cuando sea necesario. Las Interfaces funcionan como un sistema de alertas que avisan a la app sobre los movimientos del joystick, para que esta pueda reaccionar a ellos. Y por último, las etiquetas que organizan los tipos de mensajes aseguran que cada parte de la app entienda correctamente lo que está recibiendo.

**Diagrama de flujo**

En esta sección se muestra el diagrama de bloques funcional del robot. Este refleja el comportamiento lógico del sistema en sus distintos modos: control remoto (modo por defecto), seguimiento de objetos, alerta por proximidad y evasión de obstáculos. Cada modo depende de las lecturas de sensores o del control del usuario mediante la aplicación, y una lógica de comprobación continua permite modificar el modo cuando sea necesario. El diagrama evidencia cómo el microcontrolador procesa entradas, toma decisiones y ejecuta acciones para lograr un funcionamiento autónomo, flexible y controlado. A continuación, en la figura 2 se puede apreciar el flujo lógico del robot.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



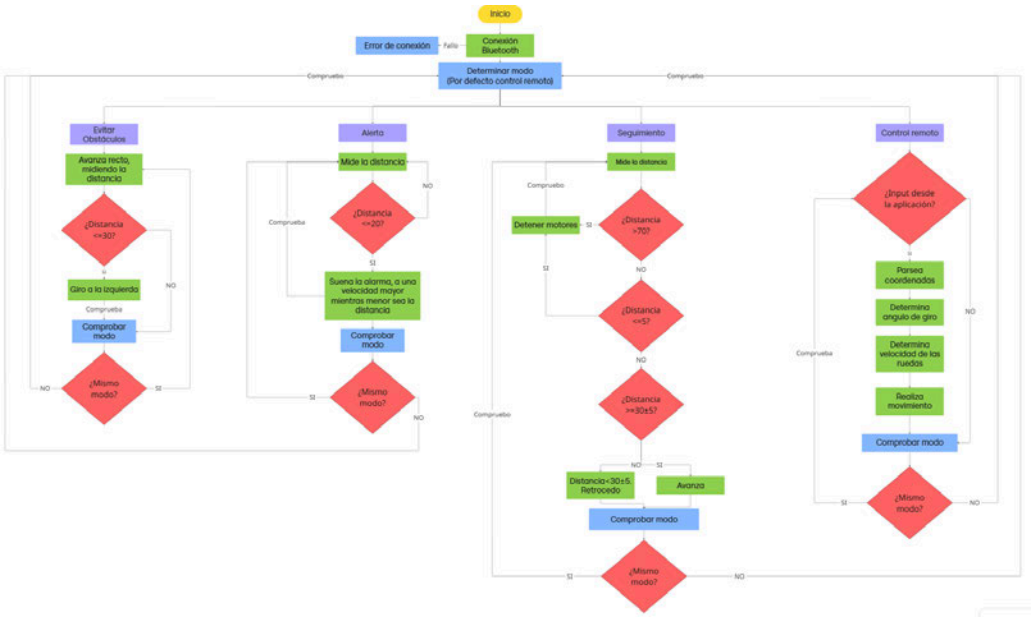



Figura 2. Diagrama de flujo lógico

**Arquitectura del sistema**

La arquitectura del sistema se compone de diferentes módulos electrónicos que, en conjunto, permiten el funcionamiento del proyecto. Cada uno de estos elementos cumple un rol específico dentro del circuito, desde la placa controladora hasta los componentes que se encargan de la interacción con el entorno. A continuación, se describen los principales elementos utilizados.

**Placa controladora**

Arduino es una placa o tarjeta controladora, con una serie de entradas y salidas, que se programa a través de la computadora mediante un lenguaje de programación.
La Arduino UNO posee pines de alimentación para alimentar los circuitos la placa de prototipos, breadboard o protoboard.
Todo el circuito electrónico que Arduino controlará se monta sobre una placa de prototipos o protoboard, y el conexionado se realiza con cables tipo jumper (es importante utilizar este tipo de cables porque no suelen romperse en los zócalos).

**Puente H**

Este módulo basado en el chip L298N permite controlar dos motores de corriente continua (como los utilizados en este proyecto) o un motor paso a paso bipolar de hasta 2 amperios.
El módulo incluye diodos de protección y un regulador que proporciona 5V.

**Motores**

Se utilizaron dos motores DC 3v - 6v, ya que este modelo es adecuado para proyectos electrónicos y de robótica.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Sensor de ultrasonido**

El sensor ultrasónico HC-SR04 proporciona mediciones de distancia desde 2cm hasta 500 cm con una precisión cercana a los 3 mm.

**Bluetooth**

El módulo bluetooth HC-05 permite controlar al robot mediante la conexión con la aplicación.

**Zumbador**

El buzzer activo suena al detectar un objeto próximo a una distancia dada, sonando con mayor frecuencia a menor distancia.

**Diagrama de conexión**

La figura 3 ilustra el esquema de conexiones del sistema electrónico desarrollado. En él se integran todos los componentes necesarios para su funcionamiento, incluyendo sensores, actuadores, módulos de comunicación y la placa de control principal.
El circuito fue diseñado con el objetivo de permitir la movilidad del robot, la detección de obstáculos y la comunicación remota con la aplicación móvil. Para ello, se utilizaron conexiones entre la placa Arduino, un módulo Bluetooth, un sensor ultrasónico, un buzzer, motores y un puente H, todo alimentado por una batería externa.

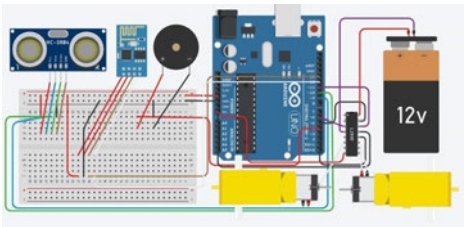



Figura 3. Diagrama de conexión del hardware

**¿Por qué Arduino Uno y no ESP32?**

Se eligió Arduino Uno por su simplicidad y adecuación a los requisitos del proyecto. A diferencia del ESP32, su funcionamiento a 5V lo hace compatible con sensores y drivers comunes (ultrasonido, puente H) sin necesidad de adaptadores lógicos, lo que simplifica el diseño y reduce posibles fallas. Además, su consumo estable (45–80 mA) es más apropiado para baterías de 12V, mientras que el ESP32 presenta picos de hasta 200 mA con WiFi/BLE, generando inestabilidad.
Aunque el ESP32 ofrece mayor memoria y conectividad, el robot no requería WiFi ni multitarea compleja: la comunicación se resolvió con un módulo HC-05 y el control secuencial de Arduino resultó suficiente para manejar motores y sensores. En consecuencia, fue la opción más práctica y confiable para un proyecto académico con plazos ajustados.

**Impresión 3D**

Se realizó el diseño del armazón exterior con el programa Fusion 360, empleando un programa de software que traduce un modelo 3D digital en un código específico que una impresora 3D puede entender y ejecutar para fabricar el objeto capa por capa.

**Equilibrio de peso**

Durante el desarrollo de la arquitectura, se evaluaron distintas configuraciones de diseño con el objetivo de encontrar un equilibrio entre funcionalidad, simplicidad y rendimiento. Entre las alternativas consideradas, se analizaron estructuras con múltiples ruedas motrices, combinaciones con ruedas de apoyo y distintos enfoques de distribución de peso. Finalmente, se optó

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



por una configuración de dos ruedas principales, decisión que responde a diversos factores técnicos y prácticos que se detallan a continuación.

**Configuración inicial: Dos ruedas motrices**

El modelo de tracción diferencial es una de las configuraciones más sencillas y económicas en robótica móvil, ya que solo requiere dos ruedas motrices [6].
Los robots diferenciales son ideales para principiantes por su facilidad de construcción y programación: con solo dos motores se pueden realizar movimientos hacia adelante, atrás o giros, lo que los hace adecuados para entornos educativos y proyectos con recursos limitados [9].
Este sistema permite realizar giros cerrados, incluso sobre su propio eje, siendo muy útil en trayectorias controladas o desplazamientos en interiores [7]. Además, es uno de los modelos más utilizados en robótica móvil por su eficiencia y simplicidad, ya que consume menos energía que configuraciones más complejas y resulta compacto y liviano [9][10].
Arduino Uno, con sus limitadas salidas PWM y capacidad de corriente, puede manejar fácilmente dos motores, que junto al L298N se integran de forma simple y sin sobrecarga eléctrica. La reducción de cables y componentes también facilita la autonomía y el mantenimiento.
Como desventajas, se destaca que para lograr un desplazamiento recto ambos motores deben girar exactamente a la misma velocidad, lo cual puede generar desvíos sin retroalimentación o sensores de corrección [6]. Tampoco es adecuado para superficies irregulares o inclinadas, donde la falta de tracción afecta el desempeño [7]. Además, al ser un sistema no holonómico, no permite movimientos laterales, lo que limita su versatilidad en comparación con configuraciones omnidireccionales [9][8].
Al contar con solo dos ruedas motrices, es necesario un punto de apoyo extra para evitar que el robot pierda estabilidad al detenerse o cambiar de dirección [10].

**Configuración final: Dos ruedas motrices y rueda de apoyo**

Los sistemas diferenciales suelen incorporar una tercera rueda de apoyo como elemento pasivo para mantener el equilibrio. Esta solución no requiere motores ni programación adicional, lo que conserva la simplicidad del sistema [6].
Una rueda de apoyo, al actuar como tercer punto de contacto con el suelo, evita que el chasis del robot se incline o vuelque durante maniobras o detenciones abruptas [10].
Este tipo de apoyo es especialmente útil en robots de estructura simple o ligera, ya que evita el uso de sistemas más pesados o costosos para estabilización [7].
Como desventaja se tiene que si la rueda de apoyo no está correctamente alineada o tiene poca libertad de movimiento, puede oponer resistencia al giro, especialmente en maniobras en el lugar, lo cual afecta la maniobrabilidad [6].

**Pruebas realizadas**

Prototipo: Versión 1
Para la construcción del prototipo utilizamos la placa del kit de robótica Educabot y los componentes del mismo. Sin embargo, al finalizar la versión 1 y llevar a cabo el desarrollo del programa necesario para cumplir con las funcionalidades, encontramos fallas críticas en el funcionamiento de los motores y el puente H incluído en la placa.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Al no poder utilizar estos componentes para el diseño final, buscamos reemplazar el diseño con otra placa.

Versión 2
Contando con la asistencia de otro kit de robótica, realizamos el diseño y construcción de la segunda versión del robot. Sin embargo, al testear el código desarrollado para el prototipo inicial (adaptado a la nueva placa), encontramos que el nuevo sensor de ultrasonido no cumplía correctamente con sus especificaciones y tenía fallos en su funcionamiento. Al ser un componente fundamental para el sistema ideado, finalmente diseñamos una nueva versión.

Versión final
Construida a partir de la utilización de una Arduino Uno en su versión estándar, se utilizaron componentes estandarizados y piezas metálicas reutilizadas de uno de los kits de robótica para conformar el esqueleto del robot. Finalmente, como puede apreciarse en la figura 4, el armazón superior fue diseñado a medida e impreso en 3D.

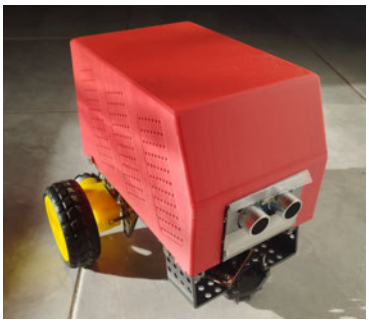


Figura 4. Versión final del robot

## Conclusión y Trabajos Futuros

El desarrollo del robot permitió aplicar de forma práctica los conocimientos adquiridos durante la cursada, integrando programación en tiempo real, electrónica, diseño mecánico y desarrollo de software. A pesar de los desafíos presentados durante las etapas de prototipado (como fallas en componentes y adaptaciones del hardware) se logró construir un sistema funcional, eficiente y adaptable. La elección de Arduino Uno como plataforma principal respondió a criterios de compatibilidad, simplicidad y estabilidad energética, facilitando el enfoque en las funcionalidades clave del robot. La experiencia no solo fortaleció las competencias técnicas del equipo, sino que también demostró la importancia del trabajo iterativo, la validación experimental y la integración multidisciplinaria en proyectos de ingeniería embebida.

**Referencias**

[1] Google. (s.f.-a). Permisos de Bluetooth. Android Developers. https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/bt-permissions?hl=es-419

[2] Google. (s.f.-b). Transferencia de datos por Bluetooth. Android Developers. https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/transfer-data?hl=es-419

[3] Google. (s.f.-c). Conectarse a dispositivos Bluetooth. Android Developers. https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/connect-bluetooth-device s?hl=es-419

[4] Google. (s.f.-d). Permisos de Bluetooth – Código Java. Android Developers. https://developer.android.com/develop/connectivity/bluetooth/bt-permissions?hl=es_41 9#java

[5] Asociación Española de Robótica (Ed.). (2023). Robots móviles: Arquitectura y aplicaciones (3ª ed.). CILADI. https://ciladi.org/wp-content/uploads/Libro-Robots-VF3.pdf

[6] Skiras. (2008, mayo). 3ms III: Configuraciones mecánicas [Entrada de blog]. Skiras Blog. https://skiras.blogspot.com/2008/05/3ms-iii-configuraciones-mecnicas.html

[7] GXSUP Robot. (s.f.). ¿Cuáles son los diferentes tipos de chasis robóticos? GXSUP Robot. https://es.gxsuprobot.com/%C2%BFCu%C3%A1les-son-los-diferentes-tipos-de-chasis-rob%C3%B3ticos-id45427856.html

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[8] Cinemática de Robots Móviles [Documento]. Scribd. https://es.scribd.com/document/580226518/8-Cinematica-Robots-Moviles

[9] HispaRob. (s.f.). Robots Omni-Drive vs accionamiento diferencial. HispaRob. https://www.hisparob.es/robots-omni-drive-vs-accionamiento-diferencial/

[10] Vehículos con ruedas: configuraciones cinemáticas de robots móviles. 1Library https://1library.co/article/veh%C3%ADculos-ruedas-configuraciones-cinem%C3%A1ticas-robots-m%C3%B3viles.qvl5m541

[11] BysMax Electrónica. (s.f.). Diferencia entre un ESP32 y un Arduino. BysMax Blog. https://electronica.bysmax.com/blog/diferencia-entre-un-esp32-y-un-arduino

[12] AceBott. (2023, septiembre 4). ESP32 vs Arduino: What is different? AceBott STEM Blogs. https://acebott.com/stem-blogs/esp32-vs-arduino-what-is-different/?srsltid=AfmBOop_mQyLqVED2vNmzWGODsHkvYvnTKMSKwR-R4K13qrWhdejAS1d

[13] Bilodeau, B. (2022). Tiny Desktop Robot With ESP32 and FreeRTOS. Instructables. https://www.instructables.com/Tiny-Desktop-Robot-With-ESP32-and-FreeRTOS/

**Datos de Contacto:**

*Sabrina Russell: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. russellsabrinam@gmail.com*

*Franco Paiz: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. francopaiz100@gmail.com*

*Roman Bond: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. rbond@unaj.edu.ar*

*Diego Encinas: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. dencinas@unaj.edu.ar*

*Martin Morales: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. martin.morales@unaj.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Prototipo de Bebedero Automático para Mascotas

*Guillermo Cruz[1], Jorge Gamez[1], Carlos Miers[1], Román Bond[1], Martín Morales[1,2], Diego Encinas[1,3],*

*[1]Proyecto SimHPC - TICAPPS, Universidad Nacional Arturo Jauretche - Instituto de Ingeniería y Agronomía.*
*[2]Unidad CodApli - Facultad Regional La Plata - UTN.*
*[3]Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI) - Facultad de Informática - UNLP - Centro Asociado CIC.*

## Resumen

*En el contexto actual, donde la sociedad atraviesa un cambio cultural que lleva a las personas a pasar más tiempo fuera de los hogares y ante una baja en la tasa de natalidad, muchas familias optan por tener mascotas que pasan horas solas en casa, surge la necesidad de garantizar el acceso constante a agua fresca las mascotas. La falta de hidratación adecuada puede generar problemas de salud significativos, especialmente en climas cálidos o en animales mayores. Por este motivo, se desarrolló un bebedero automático de bajo costo que mantiene el nivel de agua de manera autónoma sin requerir intervención manual. El sistema se implementó utilizando un microcontrolador Arduino UNO, un sensor ultrasónico HC-SR04 para medir la distancia al nivel de agua, una bomba de 5 V controlada electrónicamente, un buzzer como alerta sonora. una pantalla OLED 0.96" 128x64 SSD1306 que permite visualizar en tiempo real el estado del sistema, brindando una interfaz clara y accesible para el usuario. El algoritmo se desarrolló en lenguaje C dentro del entorno Arduino IDE, aplicando lógica de control basada en eventos y temporización precisa. Este prototipo representa una solución práctica y económica para el cuidado de mascotas, con potencial de expansión hacia sistemas IoT que permitan notificaciones remotas y monitoreo a través de dispositivos móviles. De esta forma, se busca combinar conceptos de programación en tiempo real, electrónica aplicada y diseño de sistemas embebidos en un dispositivo funcional que mejore la calidad de vida tanto de los animales como de sus dueños.*

**Palabras Clave:** Bebedero automático; Arduino UNO; Sensor ultrasónico HC-SR04; Pantalla OLED SSD1306; I²C; Sistema embebido;Programación en tiempo real.

## Introducción

En la actualidad, muchas personas pasan extensas jornadas fuera de sus hogares debido a compromisos laborales, estudio u otras actividades, mientras que, en paralelo, se observa una tendencia cultural a incorporar mascotas como parte de la familia en lugar de hijos en un contexto de baja natalidad. Esta combinación genera un problema concreto: la falta de supervisión en el acceso al agua potable de los animales domésticos. Diversas experiencias en el entorno cotidiano y reportes en medios de comunicación muestran que situaciones como viajes o vacaciones pueden derivar en largos períodos donde las mascotas quedan sin reposición de agua, poniendo en riesgo su salud. Este trabajo aborda la problemática mediante el desarrollo de un sistema embebido capaz de mantener el nivel de agua en un bebedero sin requerir intervención manual. El objetivo es asegurar una hidratación adecuada y constante, resolviendo la necesidad de control en ausencia temporal de los dueños. La solución propuesta integra un microcontrolador Arduino UNO, censado ultrasónico, control automático de bomba y una pantalla OLED SSD1306 [7] para la visualización en tiempo real. Desde el punto de vista científico-académico, el proyecto permite aplicar conceptos de programación en tiempo real[5], electrónica digital y diseño de sistemas embebidos [6].
, además de explorar aplicaciones prácticas de bajo costo que pueden implementarse en la mayoría de los hogares actuales. El presente trabajo se organiza en secciones que describen el contexto y fundamentos, detallan los componentes y el desarrollo del sistema, muestran las pruebas realizadas y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



concluyen con el análisis de resultados y posibles mejoras futuras.

**Objetivo general**

Diseñar e implementar un bebedero automático de bajo costo que mantenga de manera autónoma el nivel de agua para mascotas, aplicando los conceptos aprendidos en la materia y desarrollando un sistema funcional que resuelva la problemática planteada.

**Objetivos específicos**

- Llevar a la práctica los conocimientos teóricos de programación en tiempo real, electrónica básica y control de sistemas embebidos.
- Desarrollar la capacidad de investigación y el aprendizaje autodidacta para integrar componentes electrónicos y de software.
- Implementar un prototipo funcional que mida el nivel de agua mediante sensores ultrasónicos y accione una bomba automáticamente.
- Incorporar una interfaz visual simple utilizando una pantalla OLED para mostrar el estado del sistema.
- Validar el diseño a través de pruebas prácticas que demuestren la efectividad del sistema en un escenario real.

**Implementación del sistema**

El sistema fue implementado utilizando un microcontrolador **Arduino UNO** [1] como unidad de control principal debido a su bajo costo, facilidad de programación y amplia disponibilidad de librerías para sensores y pantallas. Su arquitectura basada en ATmega328P permite gestionar entradas digitales y analógicas de forma eficiente, ideal para un prototipo de control automático de nivel de agua. Además, la comunidad activa de soporte y la integración nativa con el entorno Arduino IDE facilitaron el desarrollo iterativo y las pruebas rápidas durante la etapa de diseño. Esta elección permitió reducir tiempos de implementación y asegurar la compatibilidad con los demás módulos electrónicos utilizados.

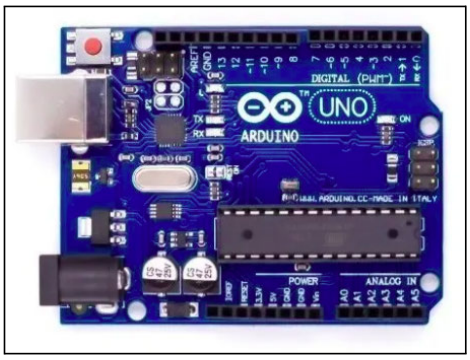


Figura 1. Placa Arduino UNO.

**Medición del nivel de agua**

El censado del nivel de agua se realiza mediante un sensor ultrasónico HC-SR04 [2] conectado a pines digitales, que mide la distancia entre el sensor y la superficie del agua. Para calcular la distancia se utilizó la fórmula:

$$d = \frac{t \times v}{2}$$

,donde $t$ es el tiempo medido en el pin echo y $v$ la velocidad del sonido en aire $\left(0.0343 \frac{cm}{\mu s}\right)$.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



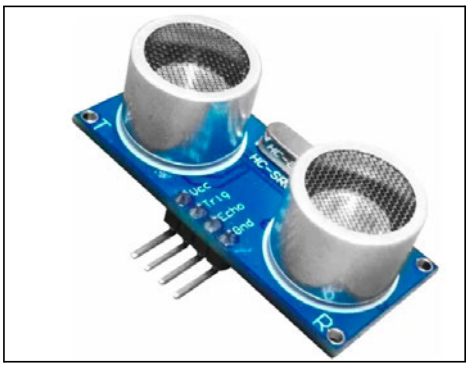



Figura 2. Dispositivo de medición ultrasónico HC-SR04

**Control y Actuación**

Cuando la distancia desde el HC-SR04 al agua supera los 13 cm, el sistema interpreta que el recipiente está vacío, activando automáticamente la bomba de 5 V y el buzzer como alerta sonora. Una vez que el nivel desciende por debajo de 10 cm, la bomba y el buzzer se apagan para evitar sobrellenado.

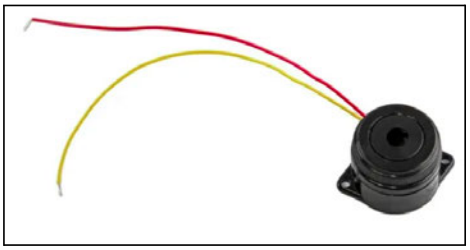


Figura 3. Buzzer



Figura 4. Bomba submergible 5v

El control de la bomba se realiza mediante un transistor BC337 [4] y un diodo de protección 1N4007 [4].

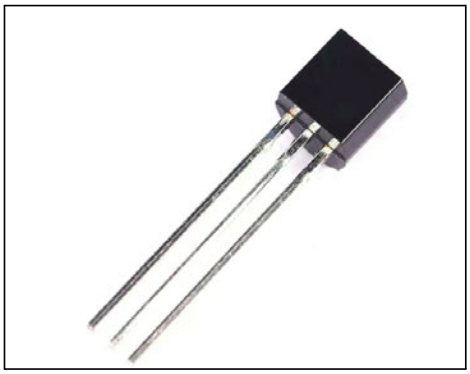


Figura 5. Transistor BC337



Figura 6. Diodo 1N4007.

**Visualización en Pantalla OLED**

Como mejora funcional, se integró una pantalla OLED SSD1306 de 0.96” y 128x64 px utilizando el bus I²C. Esta muestra en tiempo real la distancia medida y el estado de la bomba, permitiendo al usuario monitorear el sistema sin depender de una PC/Dispositivo. Para su control se usaron las librerías en C de Adafruit [7] SSD1306 y Adafruit GFX [8].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 7. Display I2c Oled 0.96 Blanco 128x64 Ssd1306

La programación se desarrolló en Arduino IDE en lenguaje C, aplicando lógica de control basada en eventos y temporización con microsegundos para garantizar precisión en las mediciones.

**Pruebas y Validación**

El prototipo se validó primero en simulación (Tinkercad[3]) y luego en hardware real, realizando ajustes de calibración de distancias y pruebas en condiciones reales con un recipiente doméstico.

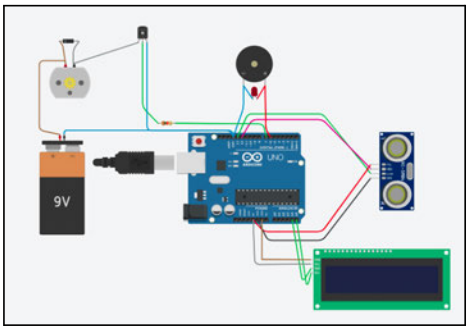



Figura 8. Interconexión de los dispositivos del sistema.

**Procesamiento de la información**

El Arduino UNO recibe la señal de tiempo desde el pin ECHO y la convierte en distancia utilizando la constante de la velocidad del sonido. Según los valores obtenidos, el microcontrolador ejecuta la lógica de control: activar o desactivar la bomba y el buzzer. Además, procesa los datos para ser enviados a la pantalla OLED, donde se visualizan en tiempo real el nivel de agua y el estado del sistema.

**Pseudocódigo empleado**

```
INICIO
  leerDistancia()
    SI distancia >= 13 cm
ENTONCES
      activarBomba()
      activarBuzzer()
   SINO SI distancia <= 10 cm
ENTONCES
      desactivarBomba()
      desactivarBuzzer()
  FIN SI

     mostrarEnOLED(distancia,
estadoBomba)
REPETIR cada 100 ms
```

**Visualización de resultados**

Una vez integrados todos los componentes (Figura 8) y calibrados los umbrales de distancia, el sistema se encuentra en condiciones de tomar mediciones en tiempo real. La pantalla OLED SSD1306 permite visualizar de forma intuitiva el nivel de agua en centímetros y el estado de la bomba (Figura 4). En la parte superior se muestra el texto de estado “Sistema Iniciado” y posteriormente la distancia medida por el sensor ultrasónico. Este indicador permite al usuario verificar de manera local si el recipiente está en condiciones óptimas o si se ha activado la bomba para su llenado automático. Adicionalmente, el buzzer genera una alerta sonora cuando se alcanza el umbral de vacío (≥ 13 cm), reforzando la notificación visual. Las pruebas de funcionamiento demostraron que el sistema responde correctamente tanto en simulación como en hardware real (Figura 9).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026






Figura 9. Bebedero lleno.

## Conclusión y Trabajos Futuros

El desarrollo de este bebedero automático permitió implementar un sistema embebido capaz de mantener el nivel de agua de forma autónoma utilizando censado ultrasónico, control de acciones a tomar y una interfaz visual mediante pantalla OLED. Se logró resolver la problemática de asegurar la hidratación de mascotas en ausencia temporal de sus dueños, ofreciendo una solución práctica y de bajo costo aplicable a la mayoría de los hogares actuales. Desde el punto de vista académico, el proyecto integró conceptos de programación en tiempo real, electrónica digital y manejo de periféricos gráficos, consolidando los contenidos de la materia en una aplicación funcional. Las pruebas en simulación y hardware real confirmaron el correcto funcionamiento de los umbrales definidos (13 cm vacío / 10 cm lleno) y la respuesta confiable de la bomba y el buzzer. Como mejora futura, el sistema puede evolucionar hacia la conectividad IoT para notificaciones remotas y monitoreo a través de aplicaciones móviles, ampliando su alcance y funcionalidad.

El trabajo en equipo permitió coordinar tareas, resolver problemas prácticos y fortalecer habilidades de colaboración, demostrando la importancia de la integración de conocimientos técnicos y comunicación entre los integrantes para alcanzar un resultado exitoso.

**Referencias**

[1] Arduino. *Arduino UNO Rev3 Technical Specifications.* Disponible en: https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno

[2] Cytron Technologies. *HC-SR04 Ultrasonic Sensor User Guide.* Disponible en: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

[3] Tinkercad. *Arduino Simulator for Embedded Systems.* Disponible en: https://www.tinkercad.com/

[4] P. Horowitz, W. Hill. *The Art of Electronics*, 3rd ed., Cambridge University Press, 2015.

[5] Encinas, Diego Omar. *Apuntes de Cátedra – Programación en Tiempo Real clase 1.* Cátedra de Programación en Tiempo Real, Universidad Arturo Jauretche, 2025.

[6] Encinas, Diego Omar. *Material de Cátedra – Clase 2.* Cátedra de Programación en Tiempo Real, Universidad Arturo Jauretche 2025.

[7] Adafruit Industries. *Adafruit SSD1306 OLED Display Library.* Disponible en: https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306

[8] Adafruit Industries. *Adafruit GFX Graphics Library.* Disponible en: https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library

**Datos de Contacto:**

*Guillermo Cruz: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. mr.taub@gmail.com*

*Jorge Gamez: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. jorgeoscargamez@gmail.com*

*Carlos Miers: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. ramirezmiers@gmail.com*

*Roman Bond: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. rbond@unaj.edu.ar*

*Diego Encinas: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. dencinas@unaj.edu.ar*

*Martin Morales: Universidad Nacional Arturo Jauretche. Buenos Aires, Florencio Varela, Av. Calchaquí 6000. martin.morales@unaj.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# "Modelos de micropagos descentralizados: Una propuesta basada en blockchain para servicios digitales."

**Fernando Jaime[1], Juan Pablo Estelles[1], Marcos Lodato[1], Valentín Torassa Colombero[1], Alejandro Mario Hernandez[1]**

***[1] Universidad Abierta Interamericana, Facultad de Tecnología Informática, CAETI, Av. Pellegrini 1618, Rosario, Santa Fe, Argentina***

*{fernando.jaime, juanpablo.estelles, marcos.lodato, valentin.torassacolombero} @alumnos.uai.edu.ar, alejandromario.hernandez@uai.edu.ar*

**Abstract**

*Los modelos de suscripción tradicionales en servicios digitales presentan ineficiencias significativas donde los usuarios frecuentemente pagan por servicios no utilizados, generando inequidades económicas particularmente relevantes en América Latina. Este trabajo propone un sistema de pagos por uso basado en contratos inteligentes desplegado en la blockchain de Ethereum, diseñado para garantizar transparencia, equidad y automatización en las transacciones digitales. La investigación analiza la implementación de un modelo descentralizado que permite a los usuarios depositar fondos por adelantado, consumir servicios de manera unitaria y recibir reembolsos automáticos por saldos no utilizados. Mediante el desarrollo de un prototipo funcional utilizando Solidity, Hardhat, y la red de prueba Sepolia, se demuestra la viabilidad técnica de automatizar pagos justos a través de oráculos que reportan consumo real en tiempo real. Los resultados evidencian que los contratos inteligentes pueden eliminar intermediarios, reducir disputas y promover modelos de negocio más equitativos donde el costo se alinea directamente con el uso efectivo. Esta propuesta contribuye al avance de Web3 y la democratización de servicios digitales, ofreciendo una alternativa transparente y auditable que beneficia tanto a usuarios como a proveedores de servicios.*

**Palabras Clave :** Contratos inteligentes, blockchain, Web3, Ethereum, micropagos.

## 1. Introducción

La transformación digital ha revolucionado el consumo de servicios, pero los modelos de suscripción tradicionales presentan desafíos significativos de equidad y eficiencia. Estos sistemas obligan a los usuarios a pagar tarifas fijas independientemente de su consumo real, generando inequidades donde frecuentemente se paga por servicios no utilizados. Esta problemática es particularmente relevante en América Latina, donde las disparidades económicas amplifican el impacto de modelos de pago ineficientes. [1]

La tecnología blockchain, mediante contratos inteligentes, ofrece una oportunidad única para abordar estas ineficiencias. Los contratos inteligentes permiten automatizar transacciones basadas en condiciones predefinidas, eliminando intermediarios y garantizando transparencia e inmutabilidad en los registros. Esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



capacidad de automatización posibilita la creación de sistemas de pago que se alinean directamente con el uso efectivo de los servicios. [2]

El presente trabajo investiga el potencial de los sistemas de pagos basados en blockchain para crear modelos más equitativos y transparentes en el consumo de servicios digitales. Específicamente, se analiza cómo los contratos inteligentes pueden facilitar pagos por uso donde los usuarios depositan fondos por adelantado, consumen servicios de manera granular y reciben reembolsos automáticos por recursos no utilizados. Esta aproximación promueve la equidad económica y aumenta la transparencia mediante registros inmutables y auditables públicamente.

La investigación se contextualiza en el creciente interés por tecnologías Web3 en América Latina, donde el entorno regulatorio favorable y la necesidad de soluciones financieras innovadoras crean un ecosistema propicio para la adopción de sistemas descentralizados. El objetivo principal es demostrar la viabilidad técnica y los beneficios potenciales de implementar sistemas de pagos automatizados y transparentes utilizando contratos inteligentes en la red Ethereum, contribuyendo al entendimiento de cómo estas tecnologías pueden democratizar el acceso a servicios digitales y promover modelos de negocio más justos.

La estructura de este trabajo incluye una revisión de las líneas de investigación actuales en Web3 y micropagos, el análisis de trabajos relacionados en sistemas de pago por uso, el desarrollo de una propuesta técnica basada en contratos inteligentes, y las conclusiones con direcciones futuras para la adopción de estos sistemas en entornos de producción.

## 2. Líneas de Investigación

Web3 combina principios del Web Semántico con la cadena de bloques, lo que permite una arquitectura distribuida más dinámica y segura. El uso de Web3 promueve que los usuarios y proveedores de servicios conserven el control de sus datos, mejorando la seguridad, la privacidad y la experiencia general [3]. Bajo esta filosofía hemos desarrollado FairPay, un sistema de pago por uso basado en contratos inteligentes, que se despliega en la red de prueba de Ethereum y se integra con herramientas de desarrollo y exploración de la cadena.

### 2.1 Contratos inteligentes y automatización de pagos

Un contrato inteligente puede definirse como software diseñado para ejecutarse automáticamente cuando se cumplen condiciones predefinidas, desplegado en un entorno de cadena de bloques y que puede ejecutarse en el contexto de un acuerdo vinculante entre las partes [4]. Este concepto subraya la capacidad de automatizar procesos sin intermediarios y de registrar todas las transacciones de forma inmutable. La programabilidad es un rasgo fundamental: el contrato ejecuta reglas “si-entonces” de forma autónoma, reduciendo riesgos operativos y garantizando la transparencia [4].

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



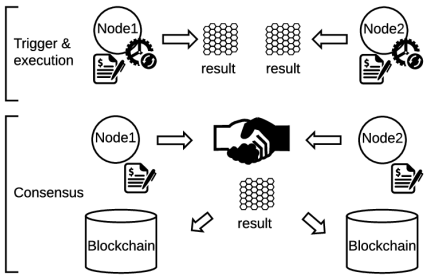



**Figura 1.** Ejecución de contratos inteligentes en un entorno DAO.
*Fuente: adaptado de Diallo et al. [10].*

### 2.2 Redes de prueba y la elección de Sepolia

Antes de desplegar contratos en la red principal, los desarrolladores recurren a redes de prueba (testnets), que son cadenas de bloques diseñadas para imitar el entorno de la *mainnet* pero en un libro contable separado [5]. Estas redes permiten validar código y realizar transacciones sin arriesgar activos reales. La red de prueba Sepolia se creó en 2021 como una red de *proof-of-authority* y, tras la fusión de Ethereum, pasó a utilizar consenso *proof-of-stake* [5]. Está diseñada para simular condiciones de red exigentes, con tiempos de bloque cortos que aceleran la confirmación de transacciones y proporcionan retroalimentación rápida a los desarrolladores [5]. Además, a diferencia de otras testnets como Goerli, Sepolia no limita la cantidad de tokens de prueba, lo que reduce el riesgo de escasez [5].

En nuestro caso, adoptamos Sepolia porque reproduce parámetros y condiciones similares a los de la red principal de Ethereum, permitiendo pruebas controladas que reflejan el comportamiento real del sistema [6]. También facilita la ejecución de contratos inteligentes en un entorno que simula las operaciones en vivo [6]. Para financiar cuentas de prueba, utilizamos *faucets* (grifos) de la testnet, como el faucet de Chainlink, que proporcionan pequeñas cantidades de Sepolia ETH necesarias para pagar las comisiones de gas.

### 2.3 Herramientas de desarrollo: Hardhat y ethers.js

Hardhat es un entorno de desarrollo para Ethereum que incluye todo lo necesario para compilar, probar y desplegar contratos inteligentes [7]. Hardhat permite ejecutar pruebas unitarias y de integración en un entorno local, gestionar múltiples redes de forma simultánea y automatizar la verificación de código en exploradores. Sus ventajas se extienden a la depuración: ofrece trazas de pila de Solidity claras y mensajes de error detallados, lo que facilita identificar fallos en las transacciones [7].

Para interactuar con el contrato desde aplicaciones externas, construimos una API en Node.js utilizando la biblioteca ethers.js. Ethers.js es una biblioteca JavaScript compacta y completa para interactuar con la cadena de bloques Ethereum [8]. Permite mantener las claves privadas en el cliente, importar y exportar billeteras y conectarse a nodos mediante JSON-RPC, Infura, Etherscan o Alchemy [8]. También genera objetos JavaScript a partir de cualquier ABI de contrato, facilitando las llamadas a funciones y la decodificación de eventos.

### 2.4 Conectividad e infraestructura: MetaMask, Infura y Etherscan

La interfaz de usuario y la gestión de claves privadas se realizaron con MetaMask, una extensión de navegador y aplicación móvil que permite a los usuarios administrar sus claves de Ethereum y Solana. MetaMask actúa como cliente de billetera para Ether y otros tokens y permite interactuar con aplicaciones descentralizadas (dapps) sin recopilar información personal [9]. El usuario conserva el control total de su identidad y de su frase de recuperación, lo cual se alinea con la filosofía de Web3.

Para transmitir transacciones a la blockchain utilizamos Infura, un servicio de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



nodos gestionados que ofrece acceso instantáneo a la red Ethereum a través de HTTP y WebSockets. Su suite de APIs proporciona infraestructura de alta disponibilidad y permite a los desarrolladores conectar sus aplicaciones a Ethereum e IPFS de forma simple y escalable. Infura utiliza una arquitectura de microservicios que escala dinámicamente y ofrece tiempos de respuesta hasta veinte veces más rápidos que otras soluciones, manteniendo actualizados sus servicios durante las actualizaciones de red [10].

El monitoreo de las operaciones del contrato se realizó a través de Etherscan, el principal explorador de bloques, motor de búsqueda y plataforma analítica de Ethereum [11]. Etherscan permite consultar transacciones, bloques, direcciones, tokens y eventos de contrato.

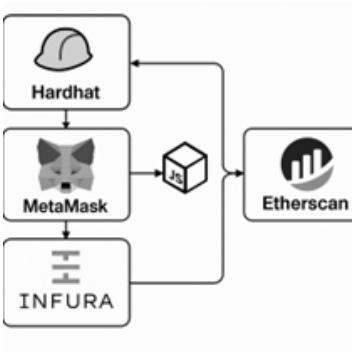



**Figura 3.** Flujo de interacción con Hardhat, MetaMask, Infura y ethers.js.

## 3. Desarrollo

A continuación, explicaremos el desarrollo completo del sistema FairPay que realizamos en conjunto con esta investigación. Resumidamente, el proyecto FairPay es una plataforma de código abierto orientada a garantizar la equidad y la transparencia en el pago por uso de servicios digitales, orientado principalmente en América Latina. Su diseño se fundamenta en el empleo de contratos inteligentes sobre la blockchain de Ethereum, permitiendo que los usuarios depositen un monto en ETH por adelantado, consuman servicios de manera unitaria y reciban automáticamente reembolsos correspondientes a saldos no utilizados. Para alcanzar este objetivo, desarrollamos un MVP (Minimum Viable Product) que integra componentes de blockchain (Ethereum Sepolia Testnet), backend (Node.js + Express) e interfaz gráfica (React + TypeScript + Tailwind).

### 3.1 Contrato inteligente

El núcleo del sistema se implementó en Solidity, un lenguaje de programación de alto nivel para escribir contratos inteligentes en la Ethereum Virtual Machine (EVM); donde empleamos el framework Hardhat que nos permite compilar, implementar, probar y depurar código en Solidity [13]. Este contrato inteligente centraliza el inicio de sesión, la gestión de depósitos, el registro del consumo y la distribución de fondos; en términos de seguridad incorpora controles basados en Ownable, que restringen el reporte de consumo exclusivamente al oráculo autorizado [14]; además de validaciones estrictas sobre depósitos, unidades de consumo y reembolsos, junto con mecanismos de emergencia.

### 3.2 Utilización de contrato

Desarrollamos una API con Node.js con Express y Ether.js que actúa como puente con el contrato, de esta manera logramos utilizar todas las funciones del mismo y simular el papel del oráculo, siendo este la única entidad facultada para reportar el consumo de los usuarios. Por otro lado, la interfaz de usuario fue desarrollada con React con TypeScript y Tailwind asegurando una experiencia interactiva e intuitiva para los usuarios, la integración con MetaMask nos permitió la conexión directa con la red de pruebas Sepolia y la gestión de transacciones.

### 3.3 Despliegue y pruebas

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



La implementación del contrato, explicado en el punto 3.1, lo realizamos a través de Infura que hace sencillo el proceso de desarrollo de aplicaciones descentralizadas y contratos inteligentes ya que opera sus propios nodos de Ethereum en la red [15]. Por otro lado, logramos ejecutar pruebas seguras, transparentes y sin riesgo financiero, utilizando Sepolia Testnet que es una red de prueba de participación que nos proporciona las herramientas necesarias para probar las aplicaciones y contratos inteligentes sin riesgo alguno [16]. Finalmente, la herramienta que se empleó para monitorear la actividad de las wallets, verificar depósitos, pagos y reembolsos fue Sepolia Etherscan que es el explorador de bloques que permite visualizar y buscar información sobre transacciones y datos dentro de la red de prueba Sepolia Testnet.

## 4. Trabajos Relacionados

En el ámbito de los micropagos basados en la blockchain, específicamente en el consumo de servicios por uso, se han desarrollado diversos trabajos que buscan abordar problemas similares, mitigando las injusticias e ineficiencias de los modelos de suscripción tradicionales.

Uno de los trabajos más relevantes es el de Zupan et al. (2020), en donde proponen un sistema de blockchain para modelos de negocio pay-per-use dentro de equipos industriales, utilizando contratos inteligentes para registrar el uso y procesar los pagos de manera automática. Este enfoque permite resolver el problema de confianza entre los proveedores y consumidores mediante la transparencia y trazabilidad inmutable, pero se centra principalmente en entornos industriales y la utilización de sensores físicos, lo cual lo hace menos flexible para servicios genéricos [17].

Otro artículo interesante realizado es el de Xu et al. (2018), que incluye una solución con micropagos para servicios, automatizando las transacciones para resolver el problema de los intermediarios centralizados, nuestro trabajo extiende este concepto mediante la implementación de un oráculo para reportar el uso en tiempo real [18].

## 5. Conclusión y Trabajos Futuros

La plataforma propuesta para el consumo de servicios basada en blockchain constituye un avance significativo hacia modelos de pago mucho más justos y transparentes, permitiendo a los usuarios realizar pagos en ETH, con un oráculo que verifica el consumo en tiempo real y contratos inteligentes que automatizan reembolsos en la testnet de sepolia. Los resultados de nuestro pequeño modelo permiten reflejar y demostrar la capacidad en la superación de las ineficiencias existentes en los sistemas de suscripción fija, en donde los consumidores a menudo pagan por servicios que realmente no utilizaron, buscamos promover un enfoque donde el consumo se alinea con el uso efectivo. La trazabilidad de las transacciones, visibles en exploradores como etherscan, permiten reforzar la confianza al garantizar auditoría pública y verificabilidad.

En comparación con otros trabajos que mencionamos anteriormente, nuestro aporte radica directamente en la integración práctica de contratos inteligentes, oráculos y un front-end reactivo en un prototipo funcional. Xu et al. (2018) destaca que los contratos inteligentes permiten automatizar transacciones mediante la eliminación de intermediarios, pero señalan desafíos como la latencia en redes sumamente concurridas y la necesidad de oráculos para datos externos [17]. Nuestra solución avanza en este aspecto mediante la implementación del oráculo para detectar y validar el consumo real, validando su viabilidad práctica aunque en un entorno simulado, lo que reduce disputas y mejora la equidad.

Las cuestiones abiertas que podemos identificar incluyen: ¿cómo proteger la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



privacidad de la información de consumo en blockchains públicas sin comprometer la trazabilidad? y ¿cómo gestionar el impacto regulatorio en la adopción masiva, en consideración con diferencias jurisdiccionales en las criptomonedas? Estas preguntas sugieren nuevas líneas de investigación como blockchains híbridas para el balance de la privacidad y auditoría, o estudios sobre la aceptación en diversos mercados.

Los trabajos futuros buscan escalar la plataforma hacia entornos reales, algunos de los siguientes pasos que se proponen son:

Migración a mainnets como Ethereum o cadenas escalables como Polygon.

Integración de sensores IoT para verificación automática del consumo, eliminando simulaciones y mejorando precisión; nuestro enfoque permitiría extender la comunicación de la blockchain con información del mundo real alimentando oráculos descentralizados.

Fomentar convenios con proveedores para la adopción de este modelo, diseñando programas de incentivo para migrar de suscripciones fijas a pagos por uso.

Desarrollo de un hub centralizado para la gestión de múltiples servicios mediante un único depósito.

**Referencias**

[1] M. Álvarez, «Blockchain Technology in Enhancing Financial Inclusion: A Study of Developing Economies.,» Well Testing Journal, 2024.

[2] L. L. W. &. X. J. Wu, «Blockchain-based smart contract for smart payment in construction: A focus on the payment freezing and disbursement cycle.,» Frontiers of Engineering Management, 2022.

[3] C. Connors and D. Sarkar, "Benefits and Limitations of Web3," arXiv, 2024.

[4] Global Financial Markets Association & Global Digital Finance, Smart Contract Primer, 2024.

[5] Alchemy, "What is the Sepolia testnet?" [Online]. https://www.alchemy.com/overviews/sepolia-testnet

[6] F. Javed and J. Mangues-Bafalluy, "Performance Analysis, Lessons Learned and Practical Advice for a 6G Inter-Provider DApp on the Ethereum Blockchain," arXiv, 2025.

[7] Hardhat, "Ethereum development environment for professionals," [Online]. https://hardhat.org

[8] Ethers.js, "Documentation (v5)," [Online]. https://docs.ethers.org/v5/

[9] MetaMask, "Getting started with MetaMask," [Online]. https://support.metamask.io

[10] Infura, "Ethereum Standard API – ETH Nodes as a Service," [Online]. https://www.infura.io/product/ethereum

[11] Etherscan, "Introduction," [Online]. https://docs.etherscan.io

[12] N. Diallo, W. Shi, L. Xu, Z. Gao, S. Yu, X. Jiang, J. Chen, Y. Zhang, H. Wang, and C. Lin, "eGov-DAO: a Better Government using Blockchain based Decentralized Autonomous Organization," in Proc. 2018 Fifth Int. Conf. eDemocracy & eGovernment (ICEDEG), Ambato, Ecuador, Apr. 2018, pp. 166–171. doi: 10.1109/ICEDEG.2018.8372356.

[13] *What is hardhat?* (s/f). Alchemy Documentation

https://www.alchemy.com/docs/what-is-hardhat

[14] *Creating ownable contracts in solidity*. (2021, marzo 24). GeeksforGeeks. https://www.geeksforgeeks.org/solidity/creating-ownable-contracts-in-solidity

[15] Torres, S. (2024, febrero 7). ¿Qué es Infura y cómo funciona? *KeepCoding Bootcamps*. https://keepcoding.io/blog/que-es-infura-y-como-funciona

[16] *What is the Sepolia testnet?* (s/f). Alchemy.

https://www.alchemy.com/overviews/sepolia-testnet

[17] Beverungen, D., Overhage, S., Gorlick', A., Moerchel, P., & Schuermann, S. (2021). Blockchains for pay-per-use business models: Insights from a design research study. Proceedings

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences. Presented at the Hawaii International Conference on System Sciences. doi:10.24251/hicss.2021.677

[18] Hu, Y., Liyanage, M., Mansoor, A., Thilakarathna, K., Jourjon, G., & Seneviratne, A. (2018). Blockchain-based Smart Contracts - Applications and Challenges. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1810.04699

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Testing de Software Potenciado por Inteligencia Artificial: Estado Actual y Perspectivas Futuras

**Tissera, Tomás; Cardetti Facchin, Agustín; Gómez Bonelli, Carlos Emanuel; Pérez López Agostina; Doffo, Camila**
***Universidad de la Defensa Nacional - Instituto Universitario Aeronáutico, Facultad de Ingeniería***

**Abstract**
*Este trabajo, enmarcado en la asignatura Ingeniería de Software 2 (Ing. Soft 2) de la carrera Ingeniería en Informática, aborda la integración de la Inteligencia Artificial (IA) en las pruebas de software. Esta integración ha evolucionado rápidamente en los últimos años, transformando las prácticas tradicionales y desafiando los enfoques convencionales ante la creciente complejidad de los sistemas. El estudio se motiva por la necesidad de comprender de manera crítica y sistemática el estado actual del uso de la IA en el testing de software, dado que los métodos tradicionales resultan insuficientes para estos desafíos. Para ello, se realiza un análisis integral que explora las técnicas empleadas, las herramientas y tecnologías disponibles, y la medida de su adopción en la industria. Asimismo, examina los beneficios y riesgos asociados con las pruebas impulsadas por IA, junto con las consideraciones éticas y medioambientales. Este documento busca aportar claridad a un campo en rápida evolución, identificando tecnologías emergentes, desafíos y las condiciones clave para una implementación responsable y sostenible.*

**Palabras Clave**
IA en el Testing, Aseguramiento de Calidad, Software de automatización de pruebas

## Introducción

En los últimos años, la integración de la Inteligencia Artificial (IA) en las prácticas de prueba de software ha cobrado un impulso notable, transformando la manera en que se piensan, diseñan y ejecutan las pruebas. Esta tendencia responde al desafío de las industrias para garantizar la calidad de sistemas cada vez más complejos, adaptativos y basados en datos, donde los enfoques de pruebas tradicionales resultan insuficientes o ineficaces. En este contexto, el uso de técnicas de IA promete automatizar tareas repetitivas, mejorar la cobertura de pruebas, anticipar fallos, y optimizar los recursos humanos y computacionales empleados durante el proceso de aseguramiento de la calidad.

El problema que motiva este trabajo radica, precisamente, en la necesidad de comprender de manera crítica y sistemática el estado actual del uso de la IA en el testing de software. A pesar de las esperanzas y el entusiasmo inicial, aún quedan interrogantes fundamentales sobre su adopción efectiva en la industria, los beneficios concretos que aporta, los riesgos que introduce y las condiciones necesarias para su implementación responsable y sostenible. Se busca aportar claridad a un campo en rápida evolución, identificando no sólo las tecnologías emergentes, sino también las grietas existentes en el conocimiento y los desafíos que condicionarán su desarrollo futuro.

## Técnicas de la IA aplicadas al testing

Mientras crece la complejidad de los sistemas de software y se intensifica la necesidad de respuestas rápidas, los métodos tradicionales de automatización de testing se esfuerza por mantener el ritmo con demandas de Integración Continua/Entrega Continua (CI/CD). Las tecnologías de IA y Machine Learning (ML) introducen capacidades innovadoras que habilitan a los entornos de automatización de testing a ser más adaptables, inteligentes y autosuficientes.

A continuación se explicarán las funciones más críticas basadas en IA/ML que están redefiniendo las prácticas de pruebas de software.

Uno de los procesos más laboriosos y demorados de la automatización de pruebas es la creación manual de scripts de prueba a partir de los requerimientos del software. El

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



procesamiento de lenguaje natural, un subcampo de la IA, les permite comprender e interpretar el lenguaje humano presente en la definición de requerimientos. En el contexto de la automatización de pruebas, esto permite la transformación de historias de usuario, criterios de aceptación y requerimientos funcionales en casos de prueba ejecutables. Esto no sólo acelera la configuración inicial de la automatización de pruebas, sino que también garantiza una cobertura integral al reducir el error humano.

Por otro lado, los modelos de IA pueden analizar datos de ejecución de pruebas anteriores, registros históricos de errores, métricas de cambio de código y patrones de uso para predecir qué casos de prueba tienen mayor probabilidad de detectar bugs. Esto es especialmente útil en pruebas de regresión, donde se deben probar un gran número de funcionalidades con recursos mínimos.

El testing automatizado genera gran cantidad de logs y datos, por lo que filtrar manualmente esta información para identificar anomalías en las pruebas o problemas de rendimiento, resulta poco práctico. Los sistemas de IA utilizan tecnologías de aprendizaje automático para detectar patrones inusuales o picos en los registros de errores.

Una capacidad destacada de la IA en automatización es el desarrollo de scripts de reparación automática (self-healing scripts). Estos se actualizan automáticamente cuando cambian los elementos de la interfaz de usuario o los endpoints del backend; mediante el reconocimiento de objetos, el sistema puede identificar el reemplazo más efectivo sin intervención humana. Esto reduce drásticamente el tiempo y el esfuerzo necesarios para mantener grandes conjuntos de pruebas, especialmente en entornos ágiles donde las actualizaciones de interfaz de usuario son frecuentes.

**Herramientas y tecnologías disponibles**

En el ámbito del testing automatizado con inteligencia artificial (IA), se han desarrollado diversas herramientas y plataformas que han transformado significativamente las metodologías tradicionales de pruebas de software. A continuación, se describen algunas de las aplicaciones más relevantes, categorizadas de acuerdo con su enfoque funcional y las tecnologías clave que integran.

Dentro de las herramientas especializadas en pruebas visuales y de extremo a extremo, Eggplant (actualmente conocida como Keysight Eggplant) destaca como una solución que permite realizar pruebas basadas en imágenes de la interfaz de usuario. Este enfoque posibilita la simulación de interacciones reales de un usuario en entornos web, de escritorio y móviles. La herramienta emplea tecnologías de visión computacional combinadas con modelado basado en objetivos, lo que le permite ejecutar pruebas sin necesidad de acceso al código fuente. De esta manera, resulta especialmente eficaz para validar diseños de experiencia de usuario en múltiples plataformas.

Otra herramienta relevante es Test.ai, la cual genera casos de prueba de forma automática a partir de interacciones reales, y cuenta con una capacidad de autorreparación que le permite adaptarse a los cambios en la interfaz de usuario. Su tecnología se basa en algoritmos de detección visual y técnicas de Machine Learning, lo que garantiza la continuidad de las pruebas a pesar de modificaciones dinámicas en la estructura o comportamiento de la interfaz.

Por su parte, Applitools se ha consolidado como una herramienta especializada en testing visual, permitiendo realizar comparaciones de imágenes a través de distintos navegadores y dispositivos. Utiliza una tecnología denominada Visual AI, capaz de analizar dinámicas visuales e identificar discrepancias de forma inteligente. Esta capacidad de análisis avanzado permite reducir el esfuerzo de mantenimiento en las pruebas, ya que la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



herramienta se adapta de forma automática a cambios sutiles en la interfaz.

Por otro lado, Appvance IQ representa una plataforma que automatiza la creación de pruebas a partir de la exploración de interfaces gráficas de usuario (GUI), eliminando la necesidad de scripting manual. Esta herramienta integra técnicas de Machine Learning con análisis de flujos de usuario, y está particularmente indicada para sectores que manejan flujos operativos complejos, como la banca y las finanzas.

De manera complementaria, Code Intelligence ofrece funcionalidades de generación automática de casos de prueba y análisis continuo del código, con especial énfasis en la detección de vulnerabilidades dentro de pipelines CI/CD. Gracias a su enfoque en IA aplicada al análisis de seguridad, permite identificar riesgos potenciales de forma temprana, fortaleciendo los procesos de desarrollo seguro.

Otra herramienta destacada es Virtuoso, que utiliza procesamiento de lenguaje natural (NLP) para generar casos de prueba a partir de descripciones escritas en lenguaje natural. Además, se adapta dinámicamente a cambios en la interfaz de usuario mediante mecanismos de autorreparación. Esto permite que equipos de pruebas sin experiencia avanzada en scripting técnico puedan implementar pruebas automatizadas con eficiencia.

Asimismo, Testim automatiza la creación, mantenimiento y ejecución de pruebas utilizando algoritmos avanzados que identifican patrones de interacción de los usuarios y realizan análisis de regresión. Esta herramienta combina visión computacional con análisis automático de regresión, lo que le permite detectar redundancias y mantener la estabilidad de las pruebas, reduciendo la tasa de fallos en entornos de prueba desde un 65 % hasta un 12 %.

Más allá de las herramientas específicas, diversas tecnologías han revolucionado la manera en que se implementan las pruebas automatizadas de software. Entre ellas, la Generative AI ha introducido la capacidad de crear de manera automática scripts de prueba, afirmaciones (assertions) y transformaciones basadas en patrones de uso y cambios en las aplicaciones.

Otra tecnología esencial es la denominada Self-Healing o Auto-Heal, que proporciona la capacidad de reparar selectores rotos o ajustar flujos cambiantes sin necesidad de intervención manual. Esto resulta crucial en entornos de desarrollo ágil, caracterizados por actualizaciones constantes.

La tecnología de Visual AI se orienta al análisis inteligente de las interfaces de usuario, posibilitando pruebas visuales robustas que reconocen patrones y diferencias sutiles. Este enfoque es esencial para asegurar la coherencia visual y de diseño en aplicaciones que operan en múltiples canales y dispositivos. Applitools se ha posicionado como uno de los principales exponentes de esta tecnología.

Por su parte, las técnicas de Machine Learning, tanto supervisado como no supervisado, se aplican para generar casos de prueba basados en datos históricos, priorizar las pruebas con mayor impacto potencial en la detección de errores y ajustar dinámicamente los flujos de testeo.

Finalmente, las tecnologías de Análisis Estático y Detección de Vulnerabilidades son soluciones que combinan validación funcional con análisis de seguridad, lo cual resulta indispensable en contextos empresariales donde la protección de la información y la mitigación de riesgos son prioritarias.

En conjunto, estas herramientas y tecnologías han redefinido el ecosistema del testing automatizado, permitiendo a las organizaciones adoptar enfoques más inteligentes, adaptativos y seguros en sus ciclos de desarrollo y validación de software.

**Nivel de madurez y adopción en industrias**

La adopción de herramientas de testing de software potenciadas por inteligencia artificial (IA) ha avanzado notablemente en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



los últimos años, aunque su nivel de madurez sigue siendo heterogéneo según la industria y el contexto organizacional. Garousi et al. (2025) identificaron 55 herramientas de automatización de pruebas basadas en IA, con funcionalidades como pruebas auto-reparables, generación automática de casos de prueba y análisis visual. Estas soluciones han demostrado mejorar la eficiencia y reducir el esfuerzo de mantenimiento frente a los enfoques tradicionales. Sin embargo, solo una parte de ellas cuenta con implementaciones prácticas consolidadas, ya que muchas organizaciones prefieren iniciar con pruebas piloto antes de su integración plena en producción. La adopción está particularmente concentrada en sectores como telecomunicaciones, fintech y desarrollo ágil.

Por su parte, Pandhare (2025) destaca que la incorporación de IA y aprendizaje automático en la automatización de pruebas está transformando el aseguramiento de la calidad, al mejorar la eficiencia, la cobertura y la precisión en la detección de defectos. Señala que las grandes corporaciones lideran este proceso de adopción, y anticipa una expansión significativa del uso de estas tecnologías hacia 2030.

Complementando esta perspectiva, Karhu, Kasurinen y Smolander (2025) advierten que, a pesar del creciente entusiasmo por las herramientas de testing basadas en IA, su adopción en entornos industriales reales todavía se encuentra en una etapa incipiente. Muchas de las implementaciones actuales se limitan a pruebas de concepto, y persiste una brecha entre las capacidades promocionadas por estas soluciones y los beneficios concretos observados en la práctica. Los autores subrayan la falta de estudios empíricos robustos en contextos productivos, así como la necesidad de una comprensión más profunda de los casos de uso efectivos. Además, destacan obstáculos clave como la calidad de los datos, la integración con procesos existentes y la necesidad de formación especializada. En este contexto, la consolidación de evidencia práctica y la superación de estas barreras serán esenciales para alcanzar una adopción más madura y generalizada.

En conjunto, la literatura actual revela un panorama mixto respecto al estado de madurez y adopción de las herramientas de testing potenciadas por inteligencia artificial. Por un lado, existen avances tecnológicos concretos y un creciente interés por parte de sectores innovadores; por otro, la implementación plena en entornos industriales aún enfrenta obstáculos técnicos, organizacionales y metodológicos. Si bien las capacidades de estas herramientas prometen transformar profundamente las prácticas de aseguramiento de calidad, la falta de evidencia empírica sólida y de una integración efectiva en contextos reales limita su impacto a gran escala. De cara al futuro, el desarrollo de estándares, la mejora en la calidad de los datos, y la inversión en capacitación técnica serán factores decisivos para cerrar la brecha entre el potencial teórico y la adopción práctica de estas tecnologías en la industria del software.

**Ventajas y riesgos**

En cuanto a sus ventajas, una de las contribuciones más significativas de la IA en el testing es la mejora de la eficiencia operativa y la automatización de tareas repetitivas, lo cual permite liberar a los profesionales de calidad para actividades más analíticas y estratégicas. Las herramientas basadas en IA pueden generar y mantener automáticamente casos de prueba analizando flujos de aplicación, comportamiento de usuarios y defectos históricos, incrementando la cobertura, rapidez y consistencia, y minimizando errores humanos. Se ha reportado una mejora en la precisión y en la capacidad de detección proactiva de defectos; modelos de ML predicen fallos con más del 90 % de precisión, anticipando defectos críticos antes de la implementación en producción.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Las metodologías impulsadas por IA optimizan dinámicamente los casos de prueba, identificando patrones en grandes volúmenes de datos para una cobertura exhaustiva, incluyendo casos extremos. Otro beneficio es la reducción del mantenimiento de scripts de prueba mediante la creación de scripts auto-reparables que se adaptan automáticamente a cambios en la interfaz o en los servicios de backend, crucial en entornos ágiles. Herramientas de visión por computadora, como Applitools Eyes, detectan discrepancias en interfaces dinámicas mediante análisis perceptual, superando la comparación píxel a píxel. En sectores regulados (ej., atención médica), la IA facilita el cumplimiento de normativas como HIPAA y GDPR, automatizando la detección de comportamientos no conformes y reduciendo errores humanos en validaciones de privacidad y seguridad. Además, los enfoques de priorización predictiva permiten ejecutar primero los casos de prueba con mayor probabilidad de fallo o impacto crítico, acelerando los ciclos de prueba y reduciendo los tiempos de comercialización. Sin embargo, la adopción de IA en testing plantea riesgos y limitaciones importantes. Destaca la gestión de la privacidad y seguridad de los datos, ya que los modelos de IA requieren grandes volúmenes de información, a menudo sensible, para su entrenamiento, generando riesgos éticos y regulatorios significativos, especialmente en salud y finanzas. Los sesgos inherentes a los modelos de IA son una preocupación crítica, pues algoritmos entrenados con datos limitados pueden generar resultados tendenciosos o inexactos (falsos positivos/negativos), afectando la confiabilidad. Esta problemática se agrava ante la carencia de estándares de prueba universalmente aceptados para herramientas IA, lo cual dificulta la validación homogénea y la aceptación en entornos regulados. Los elevados costos de implementación y la complejidad técnica son también obstáculos, exigiendo inversiones significativas en infraestructura y personal especializado, lo cual puede ser prohibitivo para organizaciones pequeñas. En este sentido, Zhu et al. (2019) sugieren metodologías como datamorphic testing, que combinan enfoques tradicionales con técnicas de IA, para reducir la carga computacional y mejorar la explicabilidad de los resultados. Otro riesgo es el model drift, donde los modelos de IA pierden precisión al evolucionar las aplicaciones, requiriendo mantenimiento continuo y reentrenamiento, lo que añade complejidad a las operaciones de DevOps. El acceso ampliado a código fuente y bases de datos que requieren estas herramientas las convierte en potenciales puntos de vulnerabilidad si no se gestionan adecuadamente, exponiéndolas a amenazas como el "model poisoning". Finalmente, la limitada validación en entornos de producción, la brecha de habilidades entre profesionales de QA y especialistas en IA, y la escasa explicabilidad de los modelos ("cajas negras") en sistemas críticos, representan barreras adicionales, dificultando la trazabilidad y la evidencia de auditoría.

**Consideraciones éticas y medioambientales**

La incorporación de inteligencia artificial (IA) en el testing de software no está exenta de implicaciones éticas y medioambientales que deben ser consideradas para lograr un desarrollo tecnológico responsable y sostenible.

Uno de los principales desafíos éticos radica en la transparencia de los modelos utilizados. Muchas herramientas de testing automatizado operan como “cajas negras”, dificultando la comprensión de sus resultados por parte de los ingenieros y testers. Esto puede comprometer la confianza en los procesos de validación y aumentar el riesgo de errores no detectados o decisiones injustificadas.

Otro aspecto crucial es la privacidad de los datos. Las herramientas de IA requieren grandes volúmenes de datos para entrenar modelos, los cuales pueden incluir

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



información sensible. El mal manejo de estos datos puede derivar en vulneraciones de privacidad, especialmente en contextos regulados como el financiero o el sanitario. Por ello, se vuelve imprescindible la adopción de buenas prácticas como la anonimización, el cifrado y el cumplimiento de normativas como el GDPR.

Asimismo, el uso de IA puede reproducir o amplificar sesgos existentes en los datos de entrenamiento. En el contexto del testing, esto puede llevar a validaciones que favorecen ciertos escenarios o usuarios y excluyen otros, afectando la equidad del software final. Por ende, se recomienda realizar auditorías de sesgos y utilizar conjuntos de datos representativos y diversos.

Finalmente, la responsabilidad y supervisión humana deben mantenerse como pilares esenciales del proceso. La automatización no exime a los desarrolladores ni a los testers de la responsabilidad sobre los resultados del sistema. La IA debe entenderse como un apoyo, no como un reemplazo total del juicio humano.

Desde el punto de vista medioambiental, el despliegue de sistemas de IA para testing implica un alto consumo energético, especialmente durante las fases de entrenamiento y evaluación de modelos. Según estudios recientes, el uso intensivo de IA en diversas industrias podría contribuir significativamente a la huella de carbono global en los próximos años.

Además del consumo energético, existe un impacto indirecto relacionado con el uso de agua para el enfriamiento de centros de datos, así como el incremento en la generación de residuos electrónicos producto de la renovación frecuente de hardware para soportar algoritmos más complejos. Este fenómeno es particularmente preocupante si se considera el crecimiento acelerado del uso de IA en entornos productivos, incluyendo el testing de software.

Por estas razones, se recomienda priorizar infraestructuras sostenibles, optimizar el entrenamiento de modelos y evaluar la eficiencia energética como un criterio técnico más al seleccionar herramientas de testing basadas en IA.

**Tendencias emergentes**

Una de las tendencias más destacadas es el desarrollo de frameworks de pruebas autónomas y autoajustables, capaces de adaptar sus casos de prueba en función de los cambios dinámicos de las aplicaciones y los datos en tiempo real. Según Garousi et al. (2025), esta capacidad de auto-reparación y ajuste de los scripts de prueba constituye un avance esencial para mantener la estabilidad de las suites de testing en entornos ágiles y de integración continua. En este sentido, se prevé que las herramientas de testing incorporen capacidades avanzadas de aprendizaje incremental para ajustar su comportamiento sin necesidad de intervención manual.

Asimismo, la integración de técnicas de visión por computadora y análisis perceptual se está consolidando como una tendencia relevante, particularmente en la validación de interfaces gráficas de usuario (GUI). Herramientas basadas en IA visual, como Applitools Eyes, utilizan modelos de deep learning para detectar cambios sutiles en la apariencia visual de las aplicaciones, más allá de simples comparaciones de píxeles (Sinha & Sinha Jana, 2025). Esto resulta crucial en aplicaciones móviles y sistemas web modernos, donde las interfaces son altamente dinámicas y personalizadas.

Otro avance significativo es la priorización predictiva de casos de prueba basada en análisis de riesgo y probabilidad de fallo. Esta metodología, sustentada en modelos de ML, permite identificar y ejecutar primero aquellos casos que tienen mayor probabilidad de presentar errores o de impactar áreas críticas de la aplicación, optimizando así los recursos y reduciendo los tiempos de ciclo de prueba (Pandhare, 2023). Khan et al. (2024) señalan que esta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tendencia se ve potenciada por la capacidad de los sistemas de IA para aprender continuamente de defectos previos y ajustar dinámicamente las prioridades de ejecución.

En el ámbito regulado de la atención médica y otros sectores críticos, se observa una creciente adopción de técnicas específicas para garantizar la seguridad y la ética en el uso de IA en procesos de testing. Wairagade y Cuthrell (2025) destacan que los entornos sanitarios están explorando metodologías como datamorphic testing, propuesta por Zhu et al. (2019), la cual permite generar y adaptar datos de prueba de forma sintética para evaluar el comportamiento de modelos de IA en condiciones controladas y evitar riesgos asociados al uso de datos sensibles reales.

Por otro lado, la tendencia hacia el uso de plataformas de testing como servicio (TaaS) basadas en IA también está ganando tracción. Estas plataformas permiten ejecutar pruebas automatizadas desde entornos en la nube, reduciendo los costos de infraestructura y facilitando la escalabilidad de los entornos de prueba (Sablaniya et al., 2024). Dichas soluciones combinan capacidades de testing funcional, no funcional y de seguridad, gestionadas por motores de IA capaces de orquestar y priorizar las pruebas según métricas de rendimiento y cobertura.

Finalmente, se reconoce como tendencia emergente la creciente atención a la explicabilidad e interpretabilidad de los sistemas de IA aplicados al testing. Garousi et al. (2025) advierten que, ante el carácter opaco de muchos modelos de deep learning, se están desarrollando técnicas de explainable AI (XAI) para facilitar la trazabilidad y comprensión de las decisiones tomadas por los sistemas de prueba automatizados. Esta línea resulta especialmente relevante en sectores regulados y en contextos donde se requieren auditorías o validación de procesos automáticos.

En conjunto, estas tendencias delinean un futuro cercano en el que las pruebas de software serán más autónomas, predictivas, adaptativas y explicables

**Investigaciones en curso**

La incorporación de inteligencia artificial (IA) en el testing de software representa una de las áreas emergentes más relevantes en ingeniería de software. En los últimos años, se han desarrollado múltiples investigaciones que analizan el impacto, las capacidades y las limitaciones del uso de IA en actividades de prueba, con énfasis en la automatización inteligente, el análisis predictivo y la generación autónoma de casos de prueba.

Uno de los estudios más completos es el de Garousi, Joy y Keleş (2025), quienes realizaron una revisión sistemática de 55 herramientas de testeo automatizado impulsadas por IA. Su trabajo no solo identifica las funcionalidades comunes de estas herramientas, sino que también evalúa empíricamente dos herramientas sobre proyectos reales. Los resultados muestran que, si bien la IA puede mejorar la cobertura y reducir el mantenimiento, su precisión aún depende en gran medida de la calidad de los datos y del contexto específico del software bajo prueba.

Por otro lado, Ricca, Marchetto y Stocco (2025) llevaron a cabo una investigación que abarca más de 3.600 fuentes provenientes de blogs técnicos, documentación de herramientas y white papers industriales. Este trabajo destaca la creciente adopción de herramientas como Testim, Functionize, Mabl y Applitools, todas ellas con capacidades de inteligencia artificial orientadas al testing. A través de entrevistas con profesionales del área, los autores identificaron que los principales beneficios de estas tecnologías son la automatización de tareas repetitivas, la generación de pruebas inteligentes y la capacidad de recuperación automática frente a cambios en la interfaz. No obstante, también se destaca la falta de transparencia en los modelos utilizados por muchas de estas herramientas, lo que representa una barrera para su adopción generalizada.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



A nivel de adopción práctica, Karhu, Kasurinen y Smolander(2025) realizaron un estudio que analiza investigaciones publicadas entre 2020 y 2024, y contrastaron las expectativas con la realidad de su implementación en la industria. El estudio revela una brecha considerable: aunque muchas organizaciones identifican múltiples casos de uso potenciales para IA en testing, las implementaciones reales y los beneficios observados siguen siendo limitados. Esto demuestra que la adopción industrial efectiva aún es baja, y subraya la necesidad de estudios más sólidos en contextos reales.Finalmente, las investigaciones en curso muestran que la IA tiene el potencial de transformar radicalmente el testing de software, pero también revelan desafíos importantes que deben ser abordados antes de una adopción masiva.

**Conclusión**

El testing automatizado basado en Inteligencia Artificial representa una innovación prometedora en el aseguramiento de la calidad del software. Herramientas como Eggplant, Test.ai, Applitools y Testim integran visión computacional, aprendizaje automático, validación visual inteligente y mecanismos de self-healing. Estas tecnologías ofrecen mejoras significativas en eficiencia, cobertura y adaptabilidad frente a cambios frecuentes en las interfaces de usuario.

En este contexto, la integración de la IA transforma el rol del profesional de calidad, estableciendo a la IA como un complemento esencial y no como un reemplazo total del juicio humano. El uso de técnicas de IA permite automatizar tareas repetitivas, optimizar los recursos humanos y reducir los errores asociados al factor humano. Esta automatización libera a los profesionales de calidad para concentrarse en actividades más analíticas y estratégicas, mientras que la IA se encarga de la ejecución y el mantenimiento de los scripts, incluso mediante mecanismos de autorreparación (self-healing). De esta manera, la IA actúa como un apoyo que incrementa la cobertura, la rapidez y la consistencia de las pruebas.

Por otro lado, esta evolución tecnológica demanda la adquisición de nuevas competencias profesionales por parte de los equipos de QA. En primer lugar, la implementación de la IA implica una complejidad técnica considerable, por lo que se requiere una inversión sostenida en capacitación especializada para reducir la brecha de conocimientos existente entre los profesionales de QA y los expertos en IA. Además, es crucial desarrollar habilidades en el manejo de grandes volúmenes de datos sensibles utilizados para el entrenamiento de modelos, abordando los riesgos de privacidad y seguridad asociados a su uso. Por último, dado que muchas herramientas de testing impulsadas por IA funcionan como “cajas negras”, los futuros profesionales deberán fortalecer sus competencias en explicabilidad e interpretabilidad de sistemas inteligentes (XAI), aspectos fundamentales para la trazabilidad y la validación en contextos críticos y regulados.

Sin embargo, su adopción conlleva desafíos relevantes. Existen riesgos técnicos y éticos relacionados con la posible introducción de sesgos, la falta de transparencia en los modelos, y la carencia de estándares de evaluación confiables. Además, los altos costos y la complejidad de implementación limitan su accesibilidad, especialmente para organizaciones con menos recursos. Estudios recientes subrayan que, aunque el potencial es elevado, la aplicación práctica de estas herramientas aún es incipiente. Para avanzar, será clave desarrollar marcos normativos claros, generar evidencia empírica en contextos reales, y promover la formación técnica y ética de los equipos de QA. Solo así podrá lograrse una integración efectiva, responsable y sostenible de la inteligencia artificial en el testing de software.

**Referencias**

[1] Garousi, V., Joy, N., Jafarov, Z., Keleş, A. B., Değirmenci, S., Özdemir, E., & Zarringhalami, R.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(2025). AI-powered software testing tools: A systematic review and empirical assessment of their features and limitations. Recuperado de https://arxiv.org/abs/2409.00411
[2] Harshad, Vijay Pandhare. (2023). Future of Software Test Automation Using AI. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Harshad-Vijay-Pandhare-2/publication/391806293_Future_of_Software_Test_Automation_Using_AIML/links/68277cda026fee1034f8a449/Future-of-Software-Test-Automation-Using-AI-ML.pdf
[3] Sablaniya, A. K., Bharti, P., & Sharma, D. (2024). AI in software testing: Enhancing testing frameworks with artificial intelligence. Recuperado de https://hbrppublication.com/OJS/index.php/JARAIIA/article/view/7274
[4] Wairagade, A., & Cuthrell, K. M. (2025). A systematic review of AI-powered software testing in healthcare: Methodologies, challenges, and future directions. Recuperado de https://doi.org/10.9734/jerr/2025/v27i41470
[5] Zhu, H., Liu, D., Bayley, I., Harrison, R., & Cuzzolin, F. (2019). Datamorphic testing: A methodology for testing AI applications. Recuperado de https://arxiv.org/abs/1912.04900
[6] Karhu, K., Kasurinen, J., & Smolander, K. (2025). Expectations vs Reality: A Secondary Study on AI Adoption in Software Testing. Recuperado de https://arxiv.org/abs/2504.04921
[7] Ricca, F., Marchetto, A., & Stocco, A. (2025). A Multi-Year Grey Literature Review on AI-assisted Test Automation. Recuperadodehttps://arxiv.org/abs/2408.06224
[8] Omar, S., Nguyen, H., & López, M. (2023). Intelligent test automation with Appvance IQ in the financial sector. Recuperado dehttps://www.researchgate.net/publication/371430705
[9] Torres, R., & Lima, V. (2024). NLP-Based Autonomous Testing using Virtuoso in Agile QA. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/377720930
[10] Applitools. (2025). Applitools Eyes: Herramienta comercial para testing visual automatizado basada en inteligencia artificial. Recuperado de https://applitools.com
[11] Test.ai. (2025). Plataforma SaaS para automatización de pruebas basada en visión computacional y aprendizaje automático. Recuperado de https://test.ai
[12] Virtuoso QA. (2025). Solución comercial de testing automatizado mediante procesamiento de lenguaje natural (NLP). Recuperado de https://www.virtuoso.qa
[13] Appvance Inc. (2025). Appvance IQ: Plataforma de automatización inteligente de pruebas de software. Recuperado de https://appvance.com
[14] Keysight Technologies. (2025). Eggplant: Herramienta comercial multiplataforma para testing automatizado con visión computacional. Recuperado de https://www.keysight.com
[15] Code Intelligence GmbH. (2025). Code Intelligence: Herramienta mixta (open-source/comercial) orientada a análisis y seguridad en pruebas automatizadas. Recuperado de https://www.code-intelligence.com
[16] Tricentis. (2025). Testim: Plataforma SaaS para automatización de pruebas con capacidades de autorreparación (self-healing). Recuperado de https://www.testim.io

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Conteo automático de glóbulos rojos y blancos en imágenes microscópicas de sangre

**Uribe Curapil, Elias Alberto**
***Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA), Procesamiento de Imágenes I***

**Abstract**
*El análisis de frotis sanguíneos es fundamental en diagnósticos clínicos, pero el conteo manual de células es un proceso lento y susceptible a errores. Este trabajo presenta un sistema automatizado para el conteo de glóbulos rojos (eritrocitos) y blancos (leucocitos) en imágenes microscópicas de sangre teñida. El método se desarrolló en Python y utiliza un pipeline de procesamiento digital de imágenes que incluye la conversión al espacio de color LAB para una mejor diferenciación celular, técnicas de umbralización automática como el método de Otsu para adaptarse a distintas condiciones de iluminación, y el algoritmo de watershed para separar células superpuestas. Adicionalmente, se entrenó un modelo de segmentación semántica U-Net que alcanzó una precisión del 97.8% en la identificación de leucocitos. El sistema logra cuantificar con precisión las células relevantes para el diagnóstico hematológico, ofreciendo una herramienta robusta y extensible que reduce la intervención manual y aumenta la objetividad del análisis.*

**Palabras Clave**
Procesamiento digital de imágenes, conteo de células, segmentación de imágenes, hematología, glóbulos rojos, glóbulos blancos, watershed, U-Net.

## Introducción

El análisis de imágenes microscópicas de sangre es una herramienta de diagnóstico clave en la medicina moderna. Tradicionalmente, el conteo de células sanguíneas se realiza de forma manual por un especialista, un método que, si bien es efectivo, consume tiempo y puede variar entre observadores. La automatización de este proceso mediante el procesamiento digital de imágenes promete mejorar la eficiencia, precisión y estandarización de los análisis hematológicos.

El problema principal que se aborda es la correcta segmentación y cuantificación de glóbulos rojos y blancos, los cuales presentan desafíos únicos: los glóbulos rojos suelen aparecer agrupados y superpuestos, mientras que los blancos tienen formas y tamaños más irregulares.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema automatizado capaz de:

1. Establecer patrones visuales para identificar los diferentes tipos de glóbulos.
2. Determinar la cantidad de glóbulos rojos y blancos presentes en una imagen.
3. Implementar un flujo de trabajo robusto que gestione las variaciones en las imágenes y la complejidad de las muestras biológicas.

La utilidad de esta solución radica en su potencial para agilizar los diagnósticos clínicos, proporcionando resultados rápidos y fiables que pueden integrarse en sistemas de laboratorio.

Este documento se organiza de la siguiente manera: primero, se detalla la metodología y el pipeline de procesamiento desarrollado; a continuación se discuten otros trabajos relacionados con este problema; posteriormente, se presentan los resultados, conclusiones y las limitaciones del enfoque

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



actual; y finalmente, se proponen líneas de trabajo futuro.

**Solución Propuesta y Metodología**

Se diseñó un *pipeline* de procesamiento modular en Python con una estructura robusta y extensible. El desarrollo y la validación inicial de los algoritmos se realizaron utilizando el conjunto de datos público "Blood Cell Images" disponible en Kaggle [1], el cual contiene aproximadamente 12.500 imágenes de frotis sanguíneos con sus respectivas anotaciones.

El valor principal de este trabajo reside en el diseño e integración del *pipeline* y la evaluación crítica de diversas técnicas de procesamiento de imágenes. Se analizaron y compararon distintas estrategias de colorimetría y umbralización, lo cual culminó en la elección optimizada del espacio LAB y la Umbralización de Otsu (dinámica) [2] por su superior robustez y adaptabilidad. Este flujo de trabajo propuesto, que integra algoritmos clásicos (como *Watershed*) y aprendizaje profundo (*U-Net*), constituye la contribución original del sistema, ofreciendo una solución integral optimizada para la problemática general de las muestras biológicas.

**1. Preprocesamiento y Selección de Espacio de Color**

El primer paso consistió en identificar el espacio de color más adecuado para la tarea. Tras evaluar RGB, HSV y LAB, se seleccionó este último, ya que el canal L (luminancia) resalta eficazmente los glóbulos rojos y el canal B permite aislar los núcleos morados de los glóbulos blancos. Sobre estos canales se aplica un filtro de mediana para reducir el ruido preservando los bordes de las células, un paso crucial para la segmentación posterior.

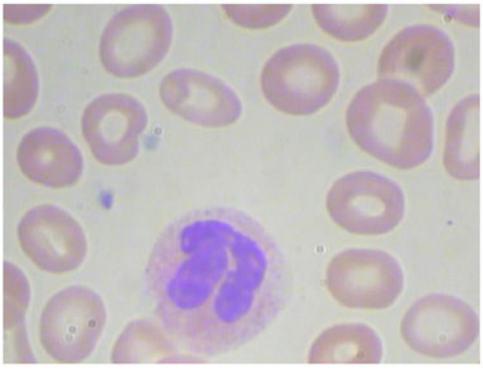


Figura 1. Imagen original

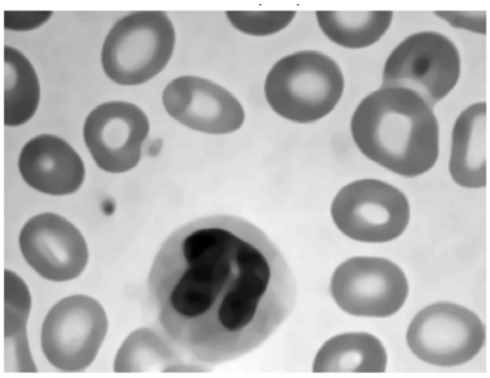


Figura 2. Canal L

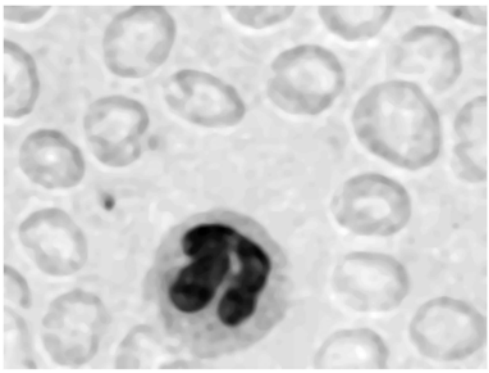


Figura 3. Canal B

**2. Umbralización y Segmentación Inicial**

Inicialmente, se utilizaron rangos de intensidad fijos, pero para aumentar la robustez del sistema se implementó el método de umbralización de Otsu. Este enfoque calcula un umbral óptimo de forma automática para cada imagen, lo que permite al sistema

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



adaptarse a variaciones de iluminación y contraste. Además, se utilizan estadísticas como la media y la desviación estándar de los canales LAB para definir umbrales dinámicos, mejorando la precisión en la generación de las máscaras binarias para cada tipo celular.



Figura 4. Umbralización para los glóbulos rojos



Figura 5. Umbralización para los glóbulos blancos

## 3. Tratamiento Específico de Glóbulos Blancos

Los glóbulos blancos se segmentan en dos etapas. Primero, se detecta su núcleo a través del canal B. Luego, se aplica un método de crecimiento por región que expande la máscara inicial para incluir también el citoplasma. La tolerancia de este crecimiento se ajusta automáticamente según las estadísticas de la imagen, asegurando una segmentación completa sin abarcar estructuras no deseadas.

Dada la variabilidad en la forma de los leucocitos, se optó por un enfoque de aprendizaje profundo. Se entrenó un modelo de red neuronal U-Net [3], una arquitectura especializada en segmentación de imágenes biomédicas. Para el entrenamiento, el conjunto de datos [1] se dividió utilizando un 70% de las imágenes para el conjunto de entrenamiento y el 30% restante para el de validación. El modelo entrenado alcanzó una métrica de *Intersección sobre Unión (IoU)* del 74% y una precisión del 97.8%.



Figura 6. Resultado del modelo

## 4. Separación de Glóbulos Rojos Superpuestos

La superposición de eritrocitos es uno de los mayores desafíos. Para resolverlo, se aplicó el algoritmo de watershed combinado con la transformada de distancia. Esta técnica trata la imagen como un mapa topográfico, "inundando" las cuencas que corresponden a cada célula para encontrar las líneas de separación. Para evitar errores de conteo en los bordes de la imagen, donde el algoritmo

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



watershed puede fallar, los glóbulos se dividen en dos grupos:

- **Glóbulos internos**: Procesados con watershed para su separación.
- **Glóbulos en el borde**: Se excluyen del watershed y se cuentan por separado.

Finalmente, el sistema realiza un conteo final de cada categoría y genera una imagen de salida donde se marcan los contornos de los eritrocitos en rojo y los leucocitos en azul para una fácil visualización.

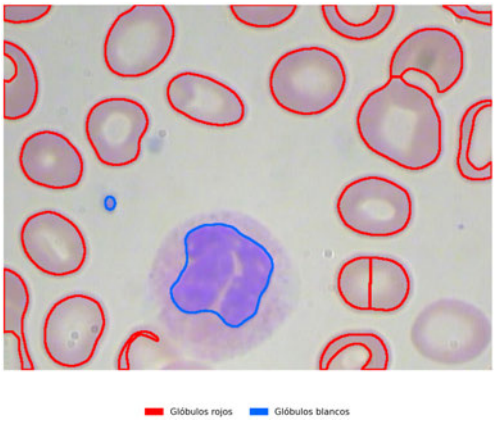



Figura 7. Resultado final

**Trabajos Relacionados**

La segmentación de células sanguíneas superpuestas es un desafío central en el procesamiento de imágenes médicas. Una solución formal y relevante para este problema se presenta en el estudio "Simultaneous Segmentation of Leukocyte and Erythrocyte in Microscopic Images Using a Marker-Controlled Watershed Algorithm" de Huidi Miao y Changran Xiao [4]. Este trabajo, al igual que nuestro enfoque, utiliza el algoritmo de watershed como técnica principal para separar células aglomeradas.

La metodología de los autores comienza con una conversión de la imagen al espacio de color CMYK para aislar las características de los leucocitos y eritrocitos. Posteriormente, aplican una serie de operaciones morfológicas para generar "marcadores" precisos en el centro de cada célula. Estos marcadores guían el proceso de segmentación de watershed, previniendo la sobre-segmentación, que es uno de los problemas más comunes de esta técnica.

La similitud principal con nuestro proyecto es el uso del algoritmo de watershed para resolver el problema de la superposición celular. Sin embargo, los enfoques difieren en las etapas de preprocesamiento: mientras este estudio utiliza el espacio CMYK y marcadores morfológicos, nuestro sistema se basa en la robustez del espacio de color LAB y la flexibilidad de la umbralización automática de Otsu.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

Este trabajo ha logrado desarrollar un pipeline funcional y automatizado para el conteo de glóbulos rojos y blancos en imágenes microscópicas. La implementación de umbralización automática con el método de Otsu y el uso de un modelo U-Net han dotado al sistema de una alta robustez y adaptabilidad ante distintas condiciones de imagen. La segmentación de leucocitos es completa (núcleo y citoplasma) y la separación de eritrocitos mediante watershed funciona eficazmente en casos de superposición moderada.

A pesar de los avances, el sistema presenta algunas limitaciones. La separación de glóbulos rojos en conglomerados muy densos sigue siendo un desafío, ya que el algoritmo de watershed puede no segmentarlos correctamente. Del mismo modo, los cúmulos de células en los bordes de la imagen pueden llevar a errores en el conteo.

Como trabajos futuros, se proponen las siguientes líneas de mejora:

1. Probar el *pipeline* con otros datasets públicos de frotis sanguíneos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



(diferentes a Blood Cell Images) para establecer su capacidad de generalización. A futuro, se buscará una prueba de campo comparativa contra un bioquímico entrenado. La implementación de pruebas con datos de laboratorios reales requerirá la firma de convenios interinstitucionales y la observancia estricta de protocolos de anonimización de datos de pacientes y médicos.

2. Explorar algoritmos de segmentación más avanzados basados en aprendizaje profundo (*deep learning*) para mejorar la separación de eritrocitos muy superpuestos.
3. Refinar el tratamiento de los bordes de la imagen para asegurar que no se pierdan células en el conteo.
4. Mejorar las funciones de cierre morfológico para reparar grietas en las máscaras generadas y evitar huecos.
5. Ampliar el sistema para que no solo cuente, sino que también clasifique los diferentes tipos de leucocitos (linfocitos, neutrófilos, etc.), cumpliendo con uno de los objetivos específicos iniciales.

**Agradecimientos**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis docentes, la Lic. Sandra Serafino y el Ing. Lucas Benjamín Cicerchia, por su invaluable guía, paciencia y apoyo constante durante el desarrollo de este proyecto. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para superar los desafíos y alcanzar los objetivos propuestos.

**Referencias**

[1] Mooney, P. "Blood Cell Images". Kaggle. Disponible en: https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/blood-cells

[2] Otsu, N. "A threshold selection method from gray-level histograms". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979. https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076

[3] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation". En: *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*. Springer, Cham, pp. 234-241, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

[4] Miao, H., & Xiao, C. "Simultaneous Segmentation of Leukocyte and Erythrocyte in Microscopic Images Using a Marker-Controlled Watershed Algorithm". *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2018, Article ID 7235795, 2018. https://doi.org/10.1155/2018/723579

**Datos de Contacto:**

*Elías Uribe. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA). B6000. eauribecurapil@comunidad.unnoba.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Análisis de la relación entre parámetros de impresión 3D y medidas finales de piezas impresas en PLA

**Mendiaz, Fransisco**
**Marquardt, Agustín**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario***

**Abstract**
*Este trabajo tiene como propósito analizar cómo los parámetros de impresión 3D influyen en variables intrínsecas del proceso de fabricación, específicamente el peso final de la pieza y el tiempo de impresión. La investigación surge de la necesidad de complementar los estudios existentes, que suelen enfocarse en propiedades mecánicas, con un enfoque en medidas básicas que afectan directamente a la productividad y el costo de producción. Se diseñó un experimento controlado en el que se imprimieron cubos de 20 mm de lado en PLA mediante tecnología FDM, variando la altura de capa y el porcentaje de relleno, mientras se mantuvieron constantes otros parámetros del proceso. Los datos recolectados fueron analizados con modelos de regresión lineal múltiple, implementados en Python y ejecutados en Google Colab, lo que permitió evaluar la significancia estadística de cada variable y cuantificar su efecto sobre las medidas finales. Los resultados mostraron que tanto la altura de capa como el porcentaje de relleno inciden significativamente en el peso y en la duración del proceso. Estos hallazgos contribuyen al desarrollo de modelos predictivos simples y robustos que facilitan la optimización de parámetros en contextos de prototipado, producción académica y pequeñas series, generando beneficios en términos de ahorro de material, reducción de tiempos y mejora en la planificación de la impresión 3D.*

**Palabras Clave**
Fabricación Aditiva, FDM, PLA, Altura de Capa, Tiempo de Impresión, Porcentaje de Relleno, Regresión Lineal Múltiple, Coeficiente de determinación, Valor-P.

## Introducción

La fabricación aditiva ha cobrado una gran relevancia en los últimos años como tecnología de producción flexible y de bajo costo, especialmente en aplicaciones académicas, prototipado rápido y pequeñas producciones. Dentro de las técnicas de fabricación aditiva, el Modelado por Deposición Fundida (FDM) con polímeros como el Ácido Poliláctico (PLA) es uno de los métodos más extendidos.

Diversos estudios han analizado cómo parámetros de impresión tales como la altura de capa, la temperatura de extrusión o el porcentaje de relleno influyen en la resistencia mecánica, calidad superficial y precisión dimensional de las piezas. Sin embargo, se observa una carencia de investigaciones orientadas a evaluar cómo dichos parámetros afectan a medidas finales inherentes a todas las piezas, como el peso y el tiempo de impresión, que son variables de interés práctico en cualquier proceso de fabricación. El presente estudio se justifica en la necesidad de comprender cómo los parámetros de impresión influyen en variables fundamentales del proceso como el peso final y el tiempo de fabricación. A diferencia de otras propiedades como la resistencia mecánica, estas medidas son intrínsecas a cualquier pieza y afectan directamente la eficiencia productiva (costos de material y energía, duración de lotes de producción y tiempo de entrega). Al aportar un modelo predictivo sencillo basado en regresiones, se facilita la toma de decisiones en contextos de producción, prototipado y uso académico de la impresión 3D

El objetivo de este trabajo es analizar si existe relación entre la altura de capa y el porcentaje de relleno con el peso y el tiempo de impresión de piezas impresas en PLA. Para ello, se diseñó un experimento controlado basado en la impresión de cubos de 20 mm de lado, con distintas combinaciones de parámetros.

## Metodología y Desarrollo

El experimento se diseñó con el objetivo de evaluar la influencia de la altura de capa y del porcentaje de relleno sobre el peso final y el tiempo de impresión de piezas obtenidas mediante fabricación aditiva. Para ello se imprimieron cubos de 20 × 20 × 20 mm utilizando tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM) con material PLA, manteniendo constantes parámetros como la temperatura del extrusor y de la cama, la velocidad de retracción y la velocidad de impresión, a fin de aislar el efecto de las variables bajo estudio. El patrón de relleno empleado fue Grid (grilla), seleccionado por su amplia disponibilidad en impresoras FDM y por

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



ofrecer una distribución interna uniforme del material. Este patrón se mantuvo constante en todas las impresiones, ya que el objetivo del estudio se centró exclusivamente en la influencia de la altura de capa y el porcentaje de relleno sobre las medidas finales de peso y tiempo de impresión.

La elección de la figura geométrica cúbica como punto de partida se fundamenta en otros informes previos que han empleado piezas cúbicas para evaluar la precisión dimensional y el desempeño de procesos de fabricación aditiva. Citando alguno, Maurya en 2022 [1] investigó diferentes parámetros de impresión usando cubos impresos en PLA con máquinas herramienta del tipo Modelado por Deposición Fundida (FDM). Esta investigación demuestra que variables como la densidad y el patrón de relleno impactan directamente en el tiempo de impresión y la precisión dimensional de las piezas. Por lo tanto, podemos destacar que el uso de un cubo permite una evaluación práctica y eficiente del efecto de la altura de capa y otros parámetros sobre las medidas finales y el tiempo que conlleva la impresión, lo que facilita la comparación y replicación de resultados.

La altura de capa se varió en tres niveles, al igual que el porcentaje de relleno, lo que dio como resultado un total de nueve combinaciones factoriales. Podemos ver las diferentes combinaciones en la tabla 1:

| N° de impresión | Altura de capa (mm) | % Relleno |
|---|---|---|
| 1 | 0,1 | 10 |
| 2 | 0,1 | 20 |
| 3 | 0,1 | 30 |
| 4 | 0,2 | 10 |
| 5 | 0,2 | 20 |
| 6 | 0,2 | 30 |
| 7 | 0,3 | 10 |
| 8 | 0,3 | 20 |
| 9 | 0,3 | 30 |

*Tabla 1: Variaciones de parámetros*

Una vez establecidas las configuraciones pertinentes, se continuó el experimento imprimiendo las piezas específicas.

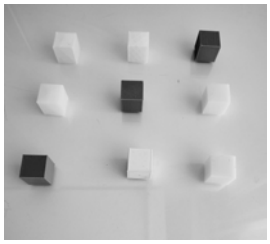


*Figura 1: resultado de la impresión*

A medida que los cubos iban siendo fabricados, se utilizó un cronómetro para medir el tiempo real de impresión de los mismos. Luego se empleó una balanza para medir el peso real en gramos de las piezas.

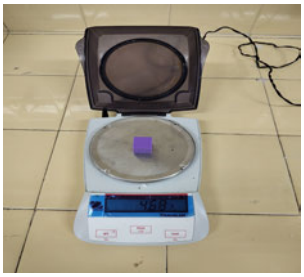


*Figura 2: cubo impreso siendo pesado*

Los resultados finales de las mediciones de las piezas se trasladaron a un archivo en Excel, con una tabla donde se dejó por sentado el resultado de cada variación para cada parámetro. La tabla 2 muestra los valores calculados:

| N° de impresión | Altura de capa (mm) | % Relleno | Peso de la pieza (g) | Tiempo de impresión (min) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,1 | 10 | 3,25 | 40,3666 |
| 2 | 0,1 | 20 | 3,51 | 25 |
| 3 | 0,1 | 30 | 3,78 | 16,7333 |
| 4 | 0,2 | 10 | 3,96 | 42,3166 |
| 5 | 0,2 | 20 | 4,18 | 32,5666 |

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 0,2 | 30 | 4,41 | 22,8833 |
| 7 | 0,3 | 10 | 4,68 | 47 |
| 8 | 0,3 | 20 | 4,86 | 33,0833 |
| 9 | 0,3 | 30 | 5,06 | 24,1833 |

*Tabla 2: Resultados obtenidos*

Con el fin de analizar la relación lineal estadística entre los parámetros de impresión (altura de capa y porcentaje de relleno) y las medidas finales obtenidas (peso de la pieza y tiempo de impresión), se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple (RLM) estimado mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS, por sus siglas en inglés). En estadística, los mínimos cuadrados ordinarios es el nombre de un método para encontrar los parámetros poblacionales en un modelo de regresión lineal. Este método minimiza la suma del cuadrado de las distancias verticales entre las respuestas observadas en la muestra y las respuestas del modelo [2]. Este enfoque permite cuantificar la influencia individual de cada parámetro técnico sobre las variables dependientes y evaluar la calidad del ajuste mediante indicadores como el coeficiente de determinación ($R^2$) y los valores de significancia estadística (valores-p). De este modo, el modelo constituye una herramienta adecuada para explorar y describir de forma sistemática cómo los factores de impresión impactan en los resultados físicos del proceso de fabricación aditiva.

Con la elección de la Regresión Lineal Múltiple (RLM) se busca analizar el efecto conjunto de dos variables independientes cuantitativas (altura de capa y porcentaje de relleno) sobre dos dependientes (peso y tiempo). La RLM permite estimar coeficientes que indican en qué medida cada parámetro afecta al resultado final, manteniendo constante el otro. Es un modelo interpretable y estadísticamente sólido, a diferencia de técnicas más complejas (ej. redes neuronales), lo que lo hace adecuado para un estudio exploratorio y divulgativo. Permite obtener indicadores como el $R^2$ ajustado, que muestran el grado de explicación del modelo y compararlo entre diferentes configuraciones. A continuación, se muestra la fórmula de la RLM utilizando OLS:

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + ... + \beta_n X_n}$$

En donde Y es la variable dependiente. Cada $X_n$ son las variables independientes, explicativas o regresores del modelo. $\beta_0$, $\beta_1$ …, $\beta_n$ son los coeficientes del modelo son los parámetros del modelo, miden la influencia que las variables explicativas tienen sobre la variable independiente. $\beta_0$ en particular es una constante llamada intercepto e indica el valor que tendría la variable independiente cuando las variables independientes valen cero. Como únicamente se tienen dos variables independientes en los modelos planteados, las ecuaciones de regresión con OLS para nuestro caso de uso, son las siguientes (sus gráficas representan planos):

- Ecuación para el peso de la pieza (en gramos) en función del porcentaje de relleno ($X_1$) y de la altura de capa ($X_2$):
$$\mathbf{Y_p = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2}$$
- Ecuación para el tiempo de impresión (en minutos) en función del porcentaje de relleno ($X_1$) y de la altura de capa ($X_2$):
$$\mathbf{Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2}$$

La significancia mediante los valores-p asociados a cada $\beta_i$ permite probar si el efecto de cada variable es estadísticamente distinto de 0. Si el valor-p es menor que 0,05 entonces el coeficiente es significativo, es decir, esa variable influye en la dependiente. Nos permite distinguir qué parámetros realmente influyen y cuáles no. [2]. Se simboliza como P > | t |. Esto ayuda a focalizar los esfuerzos en las variables que realmente importan. Si el valor-p es menor 0,05 en el modelo de peso, se concluye que el relleno tiene un efecto significativo sobre el peso. Si el p-valor de altura de capa es mayor que 0,05 en el modelo de peso, implica que no hay evidencia suficiente de que la altura de capa

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



afecte el peso. Lo mismo ocurre para todas las variables dependientes y su efecto con las variables independientes.

Otro de los estadísticos importantes que se utilizan en RLM es $R^2$ (Coeficiente de determinación). $R^2$ indica la proporción de la variabilidad de la variable dependiente explicada por el modelo. En este caso se analizará $R^2$ ajustado que ajusta el $R^2$ según el número de variables independientes. Es más realista cuando se usan pocos datos o varios predictores [2].
Tanto los valores-p como $R^2$ nos permitirán inferir estadísticamente si los parámetros calculados en la RLM ajustan bien a los datos obtenidos y, por lo tanto, saber si existe relación lineal significativa entre las variables independientes para con el peso y de las variables independiente para con el tiempo de impresión.

Dado que el objetivo del trabajo es explorar y describir relaciones directas entre parámetros técnicos y resultados físicos, se opta por no profundizar en los supuestos clásicos del modelo lineal (normalidad de los residuos, homocedasticidad en los residuos, multicolinealidad, entre otros supuestos) [2]. Esta decisión responde a la naturaleza aplicada del estudio, centrado en la interpretación de los coeficientes, su significancia y el poder explicativo del modelo como herramienta de análisis técnico.

Para procesar y analizar los datos obtenidos de las mediciones se desarrolló un programa en Python, implementado en la plataforma Google Colab. Este programa constituye la herramienta estadística principal del estudio, ya que permite cargar automáticamente la base de datos experimental en formato Excel, organizar las variables y ejecutar los cálculos correspondientes de la regresión lineal múltiple. A través de bibliotecas especializadas como numpy [3], statsmodels [4] y scikit-learn [5], el código genera los coeficientes estimados para cada parámetro de impresión, así como métricas de ajuste ($R^2$) y valores de significancia estadística (valores-p), que sirven como base para la interpretación de resultados. Asimismo, el programa produce representaciones gráficas con el uso de la librería matplotlib [6] —como planos de regresión en tres dimensiones y diagramas de dispersión— que facilitan la visualización de la relación entre los parámetros técnicos y las medidas finales. De este modo, el programa actúa como un puente entre el registro experimental y el análisis cuantitativo, asegurando objetividad y replicabilidad en los resultados obtenidos.

**Resultados**

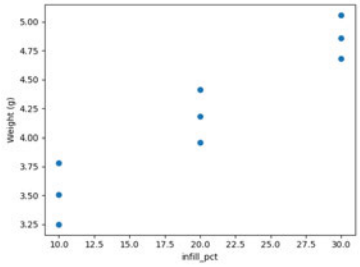



*Figura 3: Peso vs. porcentaje de relleno*

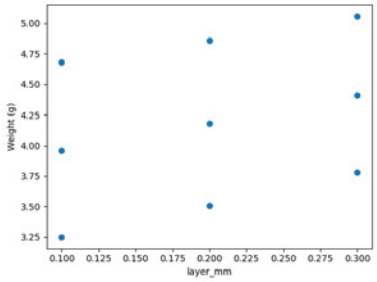



*Figura 4: Peso vs. altura de capa*

Los gráficos de dispersión muestran una clara tendencia creciente: al aumentar el porcentaje de relleno y al aumentar la altura de capa, el peso de la pieza aumenta proporcionalmente. Además, los resultados del modelo de regresión verifican que esta relación es estadísticamente significativa, con un coeficiente positivo y una

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



probabilidad asociada menor a 0.05. Con esto, se verifica la existencia de una relación lineal significativa entre las variables explicativas y la de respuesta.

| Medida | Valor |
|---|---|
| $\beta_0$ | 2.23811 |
| $\beta_1$ | 0.0677 |
| $\beta_2$ | 2.2667 |
| **P > \| T \| ($X_1$)** | 0.000 (muy pequeño) |
| **P > \| T \| ($X_2$)** | 0.000 (muy pequeño) |
| **$R^2$** | 0.998 |
| **$R^2$ ajustado** | 0.997 |

*Tabla 3: Coeficientes para Y = peso*

Nuestra ecuación de regresión lineal para nuestra variable Y: peso que obtuvimos con los siguientes coeficientes:

**Peso = 2.23811 +0.0677 . $X_1$ + 2.2667.$X_2$,** siendo

- **Constante (2.3811):** Es el peso esperado cuando $X_1$=0 y $X_2$=0
- **$X_1$ (0.0677):** Por cada aumento de 1 unidad en $X_1$ (ej. % de relleno), el peso aumenta en 0.0677 gramos, manteniendo constante $X_2$
- **$X_2$(2.2667):** Por cada aumento de 1 unidad en $X_2$ (ej. otra variable del proceso), el peso aumenta en 2.2667 gramos, manteniendo constante $X_1$.

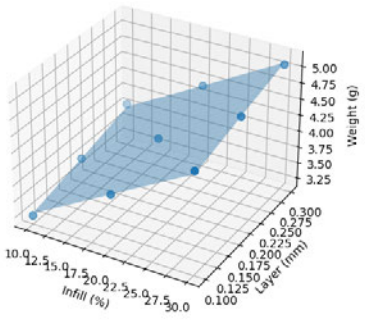
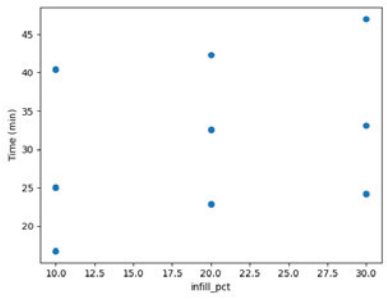



*Figura 5: plano generado por la ecuación de regresión del peso*

El modelo obtenido muestra que tanto el porcentaje de relleno como la altura de capa tienen una relación positiva con el peso de la pieza. En primer lugar, el coeficiente del relleno indica que al aumentar este parámetro de 10% a 30%, el peso de la pieza crece de forma sostenida, lo cual era técnicamente esperado, ya que un mayor porcentaje de relleno implica una mayor cantidad de material depositado dentro del cubo, incrementando directamente su masa. Por otra parte, la altura de capa también exhibe un efecto positivo: al incrementarse de 0,10 mm a 0,30 mm, el peso aumenta en varios gramos. Este comportamiento puede atribuirse a que, con capas más gruesas, los perímetros y paredes externas suelen depositar un mayor volumen por pasada, generando ligeros excedentes de material que incrementan el peso final. Además, capas más altas tienden a generar un relleno menos preciso, lo que puede provocar acumulaciones adicionales de material en ciertas zonas de la pieza.

En la bondad de ajuste del modelo podemos determinar que el $R^2$ es 0.998. Esto define que el modelo explica el 99.8% de la variabilidad observada en el peso, lo que evidencia un ajuste prácticamente perfecto y estadísticamente confiable. El $R^2$ ajustado es igual a 0.997 lo que indica que ajustado a la cantidad de variables, explica aún óptimamente el modelo a la variable dependiente.

Ahora, evaluaremos los resultados para nuestra Variable Tiempo.



AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



*Figura 6: Tiempo vs. porcentaje de relleno*

La figura 6 muestra una relación positiva claramente definida entre el porcentaje de relleno (infill_pct) y el tiempo de impresión (time_min), donde al aumentar el porcentaje de relleno de 10 a 30, el tiempo de impresión aumenta consistentemente de aproximadamente 20 a 45 minutos. Esta correlación positiva era técnicamente esperada, ya que mayores porcentajes de relleno requieren que el extrusor deposite más material y realice más movimientos, incrementando así el tiempo total de impresión. La tendencia lineal evidente confirma que el porcentaje de relleno es un factor determinante en el tiempo de fabricación, lo que tiene implicaciones directas para la optimización entre resistencia mecánica y eficiencia temporal en la planificación de impresiones 3D.

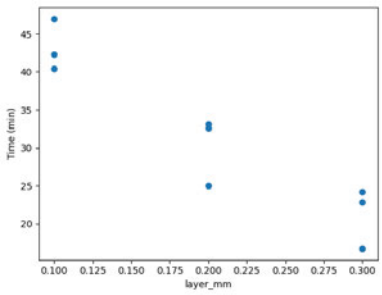



*Figura 7: Tiempo vs. altura de capa*

La figura 7 muestra una relación inversa claramente definida entre la altura de capa (layer_mm) y el tiempo de impresión (time_min), donde al aumentar la altura de capa de 0.10 mm a 0.30 mm, el tiempo de impresión disminuye consistentemente de aproximadamente 45 a 20 minutos. Esta correlación negativa era esperada técnicamente, ya que mayores alturas de capa reducen el número total de capas necesarias para completar una pieza, disminuyendo así el tiempo total de impresión. La tendencia lineal evidente sugiere que la altura de capa es un predictor confiable del tiempo lo que tiene implicaciones directas para la optimización de parámetros en la planificación de producciones donde el tiempo es un factor crítico.

| Medida | Valor |
|---|---|
| $\beta_0$ | 46.1426 |
| $\beta_1$ | 0.3694 |
| $\beta_2$ | - 109.8056 |
| **P > \| T \| ($X_1$)** | 0.003 |
| **P > \| T \| ($X_2$)** | 0.000 (muy pequeño) |
| **$R^2$** | 0.973 |
| **$R^2$ ajustado** | 0.964 |

*Tabla 4: Coeficientes para Y = tiempo*

Nuestra ecuación de regresión lineal para nuestra variable Y: Tiempo que obtuvimos con los siguientes coeficientes:
**Tiempo = 46.1426 + 0.3694 .$X_1$ - 109.8056 .$X_2$,** siendo

- **Constante (46.1426):** Representa el tiempo base para cuando los predictores **$X_1$** y **$X_2$** son 0.
- **$X_1$ (0.3694):** Relación positiva, por cada aumento de 1 unidad en **$X_1$** el tiempo aumenta en 0.37min, manteniendo constante **$X_2$**
- **$X_2$(109.81):** Relación negativa fuerte. Si **$X_2$** aumenta en 1 unidad, el tiempo baja en aproximadamente 110 min, manteniendo constante **$X_1$**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



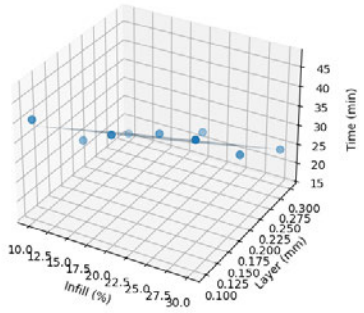



*Figura 8: plano generado por la ecuación de regresión del tiempo*

Se obtuvo además una probabilidad asociada menor a 0.05. Con esto, se verifica la existencia de una relación lineal significativa entre las variables explicativas y la de respuesta.

El modelo de tiempo es muy robusto, con alto poder explicativo. La variable $X_2$ tiene un efecto mucho más fuerte y negativo que $X_1$. Pero este efecto negativo, en sí es algo aceptable ya que hace referencia a una reducción de tiempos para aumentar la producción de impresión. Ambos predictores son relevantes para explicar la duración total de la pieza a imprimir. Cabe señalar que, si bien el coeficiente asociado a la altura de capa ($X_2$) presenta un valor numéricamente elevado (−109,80), su efecto real debe interpretarse considerando que en impresión FDM con PLA la variación típica de este parámetro se encuentra entre 0,1 y 0,5 mm. En este rango acotado, el impacto sobre el tiempo de impresión resulta proporcionalmente menor al que sugeriría una variación unitaria

En la bondad de ajuste del modelo podemos determinar que el $R^2$ es 0.973. Esto define que el modelo explica el 97.3% de la variabilidad observada en el peso, lo que evidencia un ajuste aceptable. El $R^2$ ajustado disminuye en cierto sentido a 0.964 que sigue siendo mas que aceptable, teniendo en cuenta que este estadístico determina que tan confiable y adecuado es el modelo con las variables dependientes e independientes seleccionadas.

**Trabajos Relacionados**

Un gran número de trabajos previos centran su objetivo en evaluar la influencia de los parámetros de impresión sobre la resistencia mecánica, las dimensiones o la calidad de las piezas fabricadas con manufactura aditiva.

Por ejemplo, Uribe (2022) [7] estudió la resistencia a la tracción en función de la variación de altura de capa y temperatura, concluyendo que parámetros bajos de altura y altos de temperatura maximizan la resistencia.
De manera similar, el trabajo de Minguez Martínez et al. (2022) [8] analizó cómo la temperatura, la velocidad y la altura de capa afectan las características dimensionales de piezas fabricadas por FDM, encontrando que estos parámetros tienen un impacto directo en la precisión dimensional.

El estudio de Flores et al. (2016) [9] evaluó la influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica, concluyendo que a mayor relleno se incrementa la resistencia hasta alcanzar su máximo en piezas con 100% de relleno.

En contraste con estos trabajos, el presente estudio se centra en analizar variables inherentes y cuantificables en cualquier pieza como son el peso y el tiempo de impresión, lo que permite un enfoque diferente y complementario al estado del arte.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El presente estudio tuvo como objetivo principal analizar la relación cuantitativa entre dos parámetros críticos de impresión 3D —la altura de capa y el porcentaje de relleno— y dos variables de respuesta inherentes a cualquier proceso de fabricación: el peso final de la pieza y el tiempo de impresión. A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir que

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



el modelo de regresión lineal múltiple implementado demostró ser una herramienta estadística sumamente efectiva para modelar estas relaciones.

Específicamente, se determinó que ambas variables independientes poseen una influencia estadísticamente significativa sobre las dependientes. Para el peso de la pieza, el modelo exhibió un ajuste casi perfecto ($R^2 = 0.998$), evidenciando que un aumento en el porcentaje de relleno ($X_1$) y en la altura de capa ($X_2$) incrementa el peso de manera predecible, siendo la altura de capa el factor de mayor impacto.

Para el tiempo de impresión, el modelo mostró un excelente poder explicativo ($R^2 = 0.973$), revelando una relación positiva con el porcentaje de relleno y, de manera crucial, una fuerte relación inversa con la altura de capa. Este último hallazgo es de suma relevancia práctica, ya que cuantifica cómo incrementar la altura de capa reduce sustancialmente el tiempo de manufactura, una variable clave para la eficiencia productiva.

Este trabajo se distingue de investigaciones previas, que se centran predominantemente en propiedades mecánicas o dimensionales, al cuantificar de manera precisa y predictiva el impacto de los parámetros en el costo directo de material (peso) y en el tiempo de ciclo productivo, aportando así un modelo sencillo pero robusto para la optimización y planificación en entornos académicos, de prototipado y de pequeña producción.

Este trabajo constituye una primera etapa exploratoria dentro del estudio de los parámetros de impresión 3D, basada en un diseño experimental que permitió establecer relaciones iniciales entre las variables técnicas y los resultados físicos. Este enfoque controlado sienta las bases para trabajos posteriores que amplíen el número de réplicas, los materiales y los parámetros analizados, fortaleciendo la validez y generalización de los modelos desarrollados.

Por lo tanto, se proponen las siguientes líneas de trabajo futuro para expandir el aporte científico de esta investigación:

Ampliación de la Muestra y Parámetros: Se recomienda replicar el experimento con un diseño de experimentos (DoE) más complejo, incrementando sustancialmente el número de réplicas y combinaciones. Incorporar otras variables de impresión como la temperatura del extrusor, la velocidad de impresión y la temperatura de la cama.

Validación en Geometrías Complejas: Es imperativo validar los modelos de regresión obtenidos imprimiendo y midiendo piezas con geometrías más complejas y representativas de aplicaciones reales (por ejemplo, piezas con voladizos, agujeros y superficies curvas). Esto evaluaría la universalidad de las ecuaciones propuestas.

Extensión a Otros Materiales: Una línea de gran valor sería repetir la metodología con otros materiales poliméricos de uso común en FDM, como el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) o el PETG (Polietileno Tereftalato de Glicol), para determinar si las relaciones identificadas son específicas del PLA o pueden generalizarse.

Análisis de patrones de relleno: evaluar la influencia de distintos patrones de relleno en las variables de peso y tiempo de impresión, con el fin de determinar su efecto comparativo y complementar los resultados obtenidos en esta primera etapa.

La implementación de estos trabajos futuros consolidaría los cimientos sentados por este estudio, transformándolo de un análisis exploratorio en una herramienta predictiva sólida y generalizable para la comunidad de fabricación aditiva.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Referencias**

[1] S. Maurya, B. Malik, P. Sharma, A. Singh y R. Chalisgaonkar,
"Investigation of different parameters of cube printed using PLA by FDM 3D printer"
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785322020971

[2] John E. Hanke, Dean W. Wichern,
"Pronósticos en los negocios, novena edición"
https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25599w/L1EF118_S1_R1.pdf

[3] Numpy, documentación oficial
https://numpy.org/doc/

[4] Statsmodel, documentación oficial
https://www.statsmodels.org/stable/index.html
[5] scikit-learn, documentación oficial
https://scikit-learn.org/stable/

[6] matplotlib, documentación oficial
https://matplotlib.org/stable/index.html

[7] Oscar Uribe,
"Estudio de la resistencia mecánica a la tracción en función de la variación de la altura de capa en proceso de fabricación de modelado por deposición fundida, mediante impresión 3D"
https://drive.google.com/file/d/1DVJ4pmTlWWjsut_yp4x3_SqBU_SDz2N4/view

[8] A. Mínguez Martínez, A. Serrano, P. Olaso y L. Casado,
"Determinación de la influencia en las características dimensionales de las piezas fabricadas en impresoras 3D de temperatura, velocidad de impresión y altura de capa durante la fabricación"
https://www.researchgate.net/publication/365957900_Determinacion_de_la_influencia_en_las_caracteristicas_dimensionales_de_las_piezas_fabricadas_en_impresoras_3D_de_temperatura_velocidad_de_impresion_y_altura_de_capa_durante_la_fabricacio

[9] G. Flores, R. Astudillo, "Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3D, por medio del método de Modelado por Deposición Fundida(FDM)"
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052016000500003&script=sci_arttex

**Datos de Contacto:**

*Mendiaz Fransisco. Universidad tecnológica Nacional Regional Rosario. Rosario Santa Fe, franciscomendiaz24@gmail.com*
*Marquardt Agustin. Universidad Tecnológica Nacional Regional Rosario. Rosario Santa Fe, agustinmarquardt@gmail.com*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Sistema de Evaluación de Calidad de Datos en CifraGestión

**Gonzalo Olguin**

**Carlos Humberto Salgado (Tutor) – Mario Gabriel Peralta (Tutor)**

**Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ciencias Físico, Matemática y Naturales.**

**Abstract**
*Este trabajo describe el diseño e implementación de un sistema integral de evaluación de calidad de datos, desarrollado como parte de la práctica profesional supervisada para la Licenciatura en Computación, de la Universidad Nacional de San Luis. El sistema, aplicado al ERP CifraGestión, busca asegurar que los datos estructurales y transaccionales sean completos, coherentes y útiles para los procesos críticos, como la generación de reportes y la automatización de asientos. La solución se basa en un esquema escalable que utiliza matrices de ponderación, lógica de penalización e indicadores gráficos para visualizar la calidad. Se clasifican los campos como imprescindibles, necesarios o irrelevantes, y se asigna una puntuación que refleja la calidad global por registro y por tabla. Además, se implementaron rutinas de recalibración automáticas, trazabilidad y alertas para registros críticos. Diseñado para ser configurable por cada empresa, el sistema permite una adaptación flexible a sus prioridades de carga de datos. Actualmente en etapa avanzada de desarrollo, ha mostrado resultados preliminares positivos en la mejora de la calidad informativa, la reducción de errores y el aumento del aprovechamiento del sistema.*

**Palabras Clave**
Calidad de datos, ERP, indicadores, monitoreo visual, datos estructurales, transacciones.

## Introducción

En los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP: Enterprise Resourses Planning), la calidad de los datos es un factor crítico para garantizar procesos confiables y decisiones empresariales fundamentadas. Sin datos precisos, completos y coherentes, un ERP pierde su capacidad de ofrecer valor real, lo que lleva a reportes inexactos y análisis erróneos.

Este trabajo presenta un sistema integral de evaluación de calidad de datos diseñado e implementado para el ERP CifraGestión, en el marco de su modernización tecnológica. Ante la detección de inconsistencias que afectaban la fiabilidad de la información, el objetivo principal fue desarrollar una solución que asegurara la precisión y coherencia de los datos, desde la carga inicial por parte de los usuarios hasta la generación de reportes y asientos contables.

El sistema propuesto, desarrollado con tecnologías como React [1], Spring Boot [2] y MariaDB [3], integra un esquema flexible de validación, ponderación y visualización. Este esquema incluye:

1. Reglas de validación y penalización basadas en la clasificación de campos (imprescindibles, necesarios o irrelevantes).
2. Una lógica de puntuación que evalúa la calidad de cada registro y tabla.
3. Mecanismos de visualización jerárquica mediante indicadores gráficos en el *frontend* para promover la corrección proactiva de datos.

La solución fue diseñada para ser configurable por el usuario, permitiendo a cada empresa adaptar las reglas de calidad a sus prioridades de negocio. Este enfoque no solo mejora la calidad informativa y reduce errores, sino que también incrementa el aprovechamiento del sistema, lo que valida la importancia de la calidad de datos en la toma de decisiones empresariales. Este enfoque aumenta la confianza en el ERP y permite a las organizaciones optimizar procesos, mejorar la rentabilidad y asegurar el cumplimiento normativo.

## Marco Teórico: Evaluación y Puntuación de Calidad de Datos

Este marco teórico establece los fundamentos conceptuales y metodológicos para el diseño de un sistema robusto de **Evaluación de Calidad de Datos (ECD)**. Se centra en la definición de conceptos

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



clave, la aplicación de reglas de validación con penalizaciones basadas en la clasificación de campos, y el desarrollo de una lógica de puntuación que utiliza matrices de ponderación [4]. El sistema propuesto se fundamenta en la interconexión de los siguientes pilares conceptuales: 1°) **Calidad de Datos (CD):** Se define como el estado de completitud, precisión, consistencia, actualidad y unicidad de los datos [5]. Se mide a través de **dimensiones de calidad [6]**, tales como: **Completitud:** Porcentaje de valores no nulos en un campo; **Precisión:** Grado en que los datos reflejan la realidad o el valor correcto; **Consistencia:** Uniformidad de los datos a través de diferentes sistemas o registros y **Actualidad (Timeliness):** Grado en que los datos están disponibles en el momento necesario; 2°) **Registro (Record):** Una fila o una instancia completa de datos en una tabla o base de datos; 3°) **Campo (Field) / Atributo:** Una columna o una porción específica de datos dentro de un registro y 4°) **Metadatos:** Datos que proporcionan información sobre otros datos; en este contexto, definen la estructura, el formato, los dominios de valores y, crucialmente, la **Clasificación de Campos**.

La eficacia de la evaluación de calidad depende de la priorización, la cual se logra mediante la **Clasificación de Campos**. Los campos se categorizan según su **criticidad** o **impacto** en el negocio o la función del dato. Esta clasificación es la base para la asignación de penalizaciones de los **Campos Críticos:** 1°) Datos esenciales para el funcionamiento del negocio o el cumplimiento legal (ej. Identificador Único, Valor Monetario Principal). Una falla en estos campos implica una **Penalización Alta**; 2°) **Campos Importantes:** Datos clave para procesos analíticos o la toma de decisiones (ej. Fecha de Creación, Tipo de Cliente). Una falla conlleva una **Penalización Media** y 3°) **Campos Auxiliares:** Datos secundarios, de apoyo o complementarios (ej. Comentarios, Código Postal Secundario) [7]. Una falla resulta en una **Penalización Baja**.

Son condiciones lógicas que determinan si un campo cumple con las **dimensiones de calidad** (ej. formato, rango, dominio de valores): 1°) **Regla de Formato:** El campo "Email" debe seguir el patrón usuario@dominio.ext; 2°) **Regla de Rango:** El campo "Edad" debe estar entre 18 y 100 y 3°) **Regla de Dominio:** El campo "Estado Civil" solo puede tener valores en el conjunto {Soltero, Casado, …}. Cuando una regla de validación falla, se aplica una deducción de puntos basada en la **Clasificación de Campos**. Por ej: Deducción = Puntuación Base * Factor de Penalización /Clasificación del Campo

El objetivo es abordar la calidad multidimensional de un registro o una tabla en una métrica única y comparable: el **Puntaje de Calidad**.

El puntaje de un registro es la suma de las contribuciones de sus campos, ajustadas por las penalizaciones.

1. **Puntuación Inicial:** Asignación de un puntaje base ideal (ej. 100).
2. **Cálculo Agregado:** El puntaje final del registro se calcula restando la suma total de las deducciones (penalizaciones) de su puntuación base.
   Puntaje del Registro = Puntaje Máximo - ∑(Deducciones por Campo)

El puntaje de la tabla es una medida agregada que representa la calidad promedio o total de sus registros. Por ej: Puntaje de la Tabla = ∑ (Puntajes de los Registros) / (Número Total de Registros) (Media Aritmética). Alternativamente, se puede utilizar una media ponderada para priorizar registros que han sido modificados recientemente o que tienen mayor impacto.

Las matrices de ponderación son herramientas analíticas fundamentales para incorporar la **importancia relativa** en el cálculo del puntaje. La lógica de penalización se diseña para ser **proporcional a la gravedad del error [8]**. La **Penalización Directa (Hard Deduction):** Se aplica cuando una regla de validación crítica (ej. unicidad o formato esencial) falla. La deducción es significativa y la **Penalización Acumulativa (Soft**

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Deduction):** Se aplica por errores en campos auxiliares o por fallas en la dimensión de **Completitud** (valores nulos). Las deducciones son menores y se acumulan.

**Arquitectura y Componentes del Backend**
**Estructura de la Base de Datos**
Se han diseñado e implementado tablas dedicadas para la gestión de la calidad de datos, incluyendo calidad_de_datos_matriz y calidad_de_datos_ponderacion_por_empresa.
Estas tablas permiten una configuración granular por empresa, definiendo la importancia de cada campo como imprescindible, necesario o irrelevante.

**Lógica de Evaluación**
El núcleo del sistema reside en los procedimientos almacenados que automatizan la evaluación de la calidad. La lógica de cálculo se basa en un sistema de puntuación [9]:

- **Campos imprescindibles**: 2 puntos.
- **Campos necesarios**: 1 punto.
- **Campos irrelevantes**: 0 puntos.

Esta clasificación combina dos criterios:

1. Reglas de sistema: Campos definidos como "exigidos por sistema" que son críticos para el funcionamiento del ERP y no pueden ser modificados por el usuario.
2. Configuración por empresa: Campos configurables por el administrador de cada empresa según sus necesidades operativas.

El cálculo de la calidad por registro se realiza mediante la siguiente fórmula:

**Puntaje Máximo:**
total_max = (N_imprescindibles * 2) + (N_necesarios * 1)
**Puntaje Obtenido:**
total_obtenido = (N_imprescindibles_completos * 2) + (N_necesarios_completos * 1)
**Calidad:**
calidad = (total_obtenido / total_max) * 5

**Penalización:**
Si uno o más campos imprescindibles (incluyendo los exigidos por sistema) están vacíos, la calidad del registro se establece automáticamente en 0. Esta penalización escalonada puede propagarse a nivel de tabla, alertando sobre la degradación de la calidad de datos en un módulo completo.

**Implementación de Lógica de Evaluación**
Una posible implementación que se optó en SQL MariaDB podría ser la mostrada en el código de la Figura 1.

**Tareas Pendientes del Backend**
Aún no se han desarrollado los *Endpoints REST* (interfaces que exponen funciones del sistema para que otros módulos o aplicaciones puedan utilizarlas mediante la web) necesarios para permitir la comunicación dinámica entre el *backend* y el *frontend*. La implementación de estos servicios es una tarea crucial para la visualización de los datos de calidad.

**Frontend y Visualización de Datos**
Se han desarrollado componentes visuales en el *frontend* para representar la calidad de los datos de forma jerárquica y con indicadores gráficos (ej. Medidores y semáforos). Estos prototipos están diseñados para consumir la información de los *endpoints* del *backend* una vez que estén operativos. En la figura 2 se pueden observar capturas de pantallas de estas componentes visuales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



```sql
CREATE OR REPLACE PROCEDURE calcular_calidad_registro(
    IN p_tabla VARCHAR(80),
    IN p_id_empresa INT,
    IN p_id_registro INT
)
BEGIN
    -- Variables
    DECLARE v_id_tabla INT;
    DECLARE v_total_max INT DEFAULT 0;
    DECLARE v_total_obtenido INT DEFAULT 0;
    DECLARE v_faltante_imprescindible INT DEFAULT 0;
    DECLARE v_calidad INT DEFAULT 0;
    DECLARE v_nombre_campo VARCHAR(80);
    DECLARE v_ponderacion INT;
    DECLARE v_valor TEXT;
    DECLARE done INT DEFAULT 0;

    -- Cursor
    DECLARE cur_campos CURSOR FOR
        SELECT m.nombre_del_campo,
               CASE
                   WHEN m.exigido_por_sistema = 1 THEN 2
                   WHEN p.ponderacion = 2 THEN 2
                   WHEN p.ponderacion = 1 THEN 1
                   ELSE 0
               END AS ponderacion_final
        FROM calidad_de_datos_matriz m
        LEFT JOIN calidad_de_datos_ponderacion_por_empresa p
               ON p.id_campo_matriz = m.id
              AND p.id_empresa = p_id_empresa
        WHERE m.id_nombre_de_tablas = v_id_tabla;

    -- Handler para fin de cursor
    DECLARE CONTINUE HANDLER FOR NOT FOUND SET done = 1;

    -- Obtener el id de la tabla (ejemplo: clientes → 1 en nombre_de_tablas)
    SELECT id INTO v_id_tabla
    FROM nombre_de_tablas
    WHERE nombre = p_tabla;

    -- Procesar campos
    OPEN cur_campos;
    read_loop: LOOP
        FETCH cur_campos INTO v_nombre_campo, v_ponderacion;
        IF done THEN
            LEAVE read_loop;
        END IF;

        -- Consulta dinámica con INTO para MariaDB
        SET @sql = CONCAT(
            'SELECT ', v_nombre_campo,
            ' INTO @valor_tmp FROM ', p_tabla,
            ' WHERE id = ', p_id_registro, ' LIMIT 1'
        );
        PREPARE stmt FROM @sql;
        EXECUTE stmt;
        DEALLOCATE PREPARE stmt;

        SET v_valor = @valor_tmp;

        -- Sumar ponderaciones
        SET v_total_max = v_total_max + v_ponderacion;

        IF v_valor IS NOT NULL AND v_valor != '' THEN
            SET v_total_obtenido = v_total_obtenido + v_ponderacion;
        ELSE
            IF v_ponderacion = 2 THEN
                SET v_faltante_imprescindible = v_faltante_imprescindible + 1;
            END IF;
        END IF;
    END LOOP;

    CLOSE cur_campos;

    -- Calcular calidad final
    IF v_faltante_imprescindible > 0 OR v_total_max = 0 THEN
        SET v_calidad = 0;
    ELSE
        SET v_calidad = ROUND((v_total_obtenido / v_total_max) * 5);
    END IF;

    -- Guardar en la tabla
    SET @update_sql = CONCAT(
        'UPDATE ', p_tabla,
        ' SET calidad_de_datos = ', v_calidad,
        ' WHERE id = ', p_id_registro
    );
    PREPARE stmt2 FROM @update_sql;
    EXECUTE stmt2;
    DEALLOCATE PREPARE stmt2;

    -- ✅ Devolver el valor calculado
    SELECT v_calidad AS calidad_calculada;

END;
```

**Figura 1.** Código de Store Procedure para SQL MariaDB

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





**Figura2.** Capturas de pantallas de la aplicación desarrollada

A continuación, se muestra un ejemplo de la aplicación de los conceptos relevantes aplicados al sistema `ERP CifraGestión`.

**Concepto Relevante:** Reglas de validación y penalización basadas en la clasificación de campos

**Nuestro Desarrollo:** Se definen reglas de validación que clasifican los campos de cada tabla en tres categorías: imprescindibles, necesarios e irrelevantes. Esta clasificación puede ser personalizada por cada empresa, excepto en el caso de los campos 'exigidos por sistema', que siempre serán considerados imprescindibles y no pueden modificarse. Si un campo imprescindible está vacío en un registro, se considera que el registro tiene una calidad de datos de 0, activando una alerta. Estas validaciones permiten identificar rápidamente errores críticos en la carga de datos. Por ejemplo, si un cliente no tiene número de CUIT y ese campo fue clasificado como imprescindible, el sistema penaliza el registro completo, independientemente del resto de los campos completados.

**Implementación:** La calidad de cada registro se calcula con la fórmula:
calidad = (total_obtenido / total_max) * 5

donde total_obtenido es la suma de ponderaciones de campos completos (2 si es imprescindible, 1 si es necesario), y total_max es la suma total teórica posible. Si algún campo imprescindible está vacío, la calidad del registro es automáticamente 0. La calidad de cada tabla se calcula como el promedio de calidad de sus registros válidos.

**Concepto Relevante:** Lógica de puntuación que evalúa la calidad de cada registro y tabla

**Nuestro Desarrollo:** La calidad de cada registro se calcula en base a una fórmula ponderada. Cada campo aporta un valor según su categoría: 2 puntos si es imprescindible, 1 punto si es necesario, 0 puntos si es irrelevante. Se calcula un total máximo teórico y un total de puntos obtenidos en base a los campos completados. Fórmula aplicada:

- total_max = (N_imprescindibles * 2) + (N_necesarios * 1)
- total_obtenido = (imprescindibles_completos * 2) + (necesarios_completos * 1)
- Si hay algún campo imprescindible vacío → calidad = 0
- Si no → calidad = (total_obtenido / total_max) * 5

Este valor (de 0 a 5) queda registrado en el campo `calidad_de_datos` del registro y puede ser visualizado en el frontend mediante indicadores gráficos.

**Implementación:** Cuando un campo imprescindible no está completo, el sistema asigna una penalización total, estableciendo la calidad del registro en 0, sin aplicar la fórmula ponderada. Este comportamiento asegura que no se generen indicadores engañosos sobre registros incompletos. La penalización puede escalar al nivel de tabla, disparando alertas cuando múltiples registros tienen baja calidad.

**Concepto Relevante:** Utiliza matrices de ponderación

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



**Nuestro Desarrollo:** La calidad de una tabla (ej: tabla Clientes) se calcula como el promedio de las calidades de todos sus registros. Esto permite visualizar el estado general de los datos de una sección del sistema. Cuando varios registros tienen calidad 0, la calidad general de la tabla disminuye proporcionalmente. Esta métrica se utiliza para emitir alertas sobre áreas del sistema que presentan problemas sistemáticos de calidad de datos.

**Implementación:** Se implementó un sistema de evaluación de calidad de datos utilizando una matriz de ponderación configurable por empresa, almacenada en la tabla calidad_datos_ponderacion_por_empresa, con apoyo en calidad_datos_matriz. Cada campo se clasifica con una ponderación: 0 (irrelevante), 1 (necesario) o 2 (imprescindible). Los campos exigidos por sistema son siempre imprescindibles y no modificables.
La calidad de cada registro se calcula mediante el procedimiento calcular_calidad_registro. Si algún campo imprescindible está vacío, el procedimiento retorna una calidad de 0. De lo contrario, se calcula como:
calidad = (total_obtenido / total_max) * 5

donde total_obtenido es la suma de las ponderaciones de los campos completos, y total_max es la suma total de ponderaciones posibles para ese registro.

El procedimiento calcular_calidad_tabla permite evaluar una tabla completa, calculando el promedio de las calidades de sus registros. También se implementó promedio_calidad_varias_tablas para obtener una visión general del dominio, y calcular_calidad_tabla_masiva para procesamiento en lote. Estas funciones permiten mantener actualizadas las métricas de calidad, emitir alertas visuales en tableros y dar trazabilidad sobre los errores detectados.

**Concepto Relevante:** Lógica de penalización

**Nuestro Desarrollo:** El sistema utiliza una matriz de ponderación por empresa, donde cada campo puede ser configurado como:

- Imprescindible (2 puntos)
- Necesario (1 punto)
- Irrelevante (0 puntos)

Los campos marcados como 'exigidos por sistema' siempre serán imprescindibles, sin importar la configuración por empresa. Esta matriz se almacena en tablas específicas como `calidad_datos_matriz` y `calidad_datos_ponderacion_por_empresa`, y se inicializa a través de procedimientos almacenados como `inicializar_ponderaciones`.

**Implementación:** La lógica de penalización está integrada directamente en los procedimientos almacenados. Cuando un campo clasificado como imprescindible (ya sea por sistema o por configuración de empresa) está vacío, el sistema asigna automáticamente una calidad de 0 al registro, sin considerar otros campos. Esta penalización total invalida el uso de la fórmula ponderada para ese caso, garantizando que los registros con errores críticos no contribuyan a métricas engañosas. Esta condición se propaga a la calidad de tabla, permitiendo generar alertas visuales y análisis proactivos.

**Funcionalidades en Desarrollo**
A futuro, el sistema permitirá la generación de reportes agregados de calidad por tabla, empresa y módulo. También se implementarán alertas automáticas dirigidas a los supervisores para una gestión proactiva de los registros con baja calidad.

**Etapas de Implementación del Sistema**
El sistema de evaluación de calidad de datos se ha concebido en dos etapas de implementación diferenciadas, permitiendo un enfoque progresivo y estructurado:

1. **Calidad de Datos Estructurales:** Esta fase inicial se centra en el análisis de la completitud y validez de los datos maestros (ej., clientes, productos, cuentas contables). La evaluación se realiza a nivel de registro, calculando una puntuación basada en la clasificación de campos (imprescindibles, necesarios, irrelevantes) y almacenándola en el campo calidad_de_datos de cada tabla.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



2. **Calidad de Datos Transaccionales:** Esta segunda etapa, actualmente en la fase de diseño, se enfocará en la coherencia y validez de las relaciones entre registros transaccionales (ej., consistencia entre facturas y asientos contables). Su desarrollo está planificado como una evolución natural del sistema una vez que la primera etapa se complete y valide.

**Problemática y Contexto Histórico**

La necesidad de este sistema surge de las deficiencias acumuladas en la versión anterior del ERP, desarrollado en Visual FoxPro. Dicha versión presentaba limitaciones tecnológicas y una falta de controles de datos, lo que generó una acumulación progresiva de errores.

La ausencia de validaciones estrictas, trazabilidad y mecanismos de alerta permitió que se ingresaran datos inconsistentes o incompletos, como clientes duplicados o registros con campos obligatorios vacíos. Estas inconsistencias impactaron negativamente en la calidad de los reportes y tableros de Power BI, que dejaron de reflejar la realidad operativa y expusieron la necesidad de una solución estructural. El problema se agravó por la imposibilidad de identificar el origen de los errores o a los usuarios responsables, lo que dificultaba la gestión de la calidad de la información.

**Solución Propuesta y Cambio de Paradigma**

En el marco de la modernización de Cifras a CifraGestión, se optó por una reestructuración completa del sistema en lugar de una ingeniería inversa. Esta refactorización permitió replantear la gestión de datos desde una perspectiva de calidad, control y trazabilidad a evaluar y puntuar los datos [10], sino que busca un cambio de paradigma en la interacción del usuario con el ERP. Implementa **controles preventivos** para futuras cargas, utilizando validaciones y alertas visuales, y ofrece **herramientas correctivas** para subsanar los datos históricos. Además, una funcionalidad clave es el registro de decisiones del usuario, que crea un registro detallado de quién y cuándo se realizó una acción, proporcionando a los supervisores la información necesaria para auditar y gestionar la responsabilidad en la calidad de los datos.

**Objetivos del Sistema de Calidad de Datos**

Los objetivos principales del sistema son:

- **Subsanar datos históricos:** Identificar y permitir la corrección de registros incompletos o incorrectos a través de indicadores visuales.
- **Mejorar la carga de datos:** Facilitar a los usuarios el ingreso de información correcta mediante alertas y validaciones dinámicas.
- **Garantizar la trazabilidad:** Registrar todas las acciones de carga o modificación de datos, incluyendo la identidad del usuario.
- **Apoyar la toma de decisiones:** Brindar a los supervisores herramientas para detectar anomalías y monitorear el uso del sistema.
- **Mejorar la fiabilidad de los reportes:** Asegurar que los datos reflejados en los tableros de control representen de manera precisa la realidad operativa y contable.

**Trabajos Relacionados**

En el contexto del desarrollo del sistema CifraGestión, no se identificaron antecedentes directos de la implementación de un sistema de evaluación de calidad de datos en versiones previas del ERP. Específicamente, en el sistema original basado en Visual FoxPro, no existían controles explícitos ni metodologías formales para la validación, puntuación o visualización de la calidad de los datos ingresados por los usuarios.

Aunque la literatura técnica, y algunos ERPs comerciales de vanguardia, incluyen mecanismos de validación de datos y herramientas de *data cleansing*, (procesos para limpiar, corregir o eliminar datos incorrectos o inconsistentes) la propuesta de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



CifraGestión se diferencia por su enfoque integral. Este trabajo introduce un sistema de calidad de datos como parte fundamental del diseño arquitectónico del software, no como un módulo complementario [9]. La solución se distingue por:

1. Flexibilidad lógica y configurabilidad: Permite que cada empresa establezca y adapte sus propias reglas de negocio para la calidad de datos.
2. Visualización jerárquica: Utiliza indicadores gráficos para proporcionar una representación clara y estratificada del estado de los datos.
3. Trazabilidad completa: Ofrece un registro detallado de las acciones del usuario, facilitando la auditoría y corrección.

Este enfoque no solo aborda las limitaciones del sistema predecesor, sino que también establece un estándar de calidad proactivo que es esencial para la integridad y fiabilidad del ERP en su etapa de modernización.

## Conclusión y Trabajos Futuros

Este trabajo ha presentado con éxito el diseño y la implementación de un **sistema integral de evaluación de calidad de datos** aplicado al ERP CifraGestión. La solución aborda un problema crítico en la gestión empresarial: la fiabilidad de los datos. A través de un enfoque innovador y escalable, que incluye matrices de ponderación, un sistema de penalización y visualización jerárquica de indicadores, se ha logrado garantizar la **completitud, coherencia y utilidad** de la información. La clasificación de campos y la asignación de puntuaciones por registro y por tabla proporcionan una visión clara y objetiva de la calidad de los datos, lo que es fundamental para procesos clave como la generación de reportes contables y el análisis de negocio. El diseño configurable del sistema permite que cada empresa adapte las reglas de calidad a sus necesidades específicas, lo que aumenta su flexibilidad y valor. Con resultados preliminares positivos en la mejora de la calidad informativa, la reducción de errores y el aumento de la usabilidad del sistema, esta implementación representa un avance significativo en la modernización de CifraGestión.

A futuro, se prevé extender el sistema con funcionalidades de monitoreo continuo, integración con herramientas externas de visualización como Power BI, y la implementación de reglas configurables de calidad contextual por módulo. Además, se evaluará incorporar inteligencia artificial para detección temprana de anomalías en datos y análisis predictivo de calidad, con el objetivo de transformar el sistema en una plataforma integral de gobernanza de datos empresariales.

**Datos de Contacto:**
*Gonzalo Olguin. Universidad Nacional de San Luis. Ejército de los Andes 950. gonzalo.olguinquevedo@gmail.com*

## Bibliografía

[1] *React Documentation. Meta.* Available: https://react.dev
[2] *Spring Boot Documentation. VMware.* Available: https://spring.io/projects/spring-boot
[3] *MariaDB Documentation. MariaDB Foundation.* Available: https://mariadb.org/documentation
[4] D. International, *The DAMA Guide to the Data Management Body of Knowledge (DMBOK 2).* , 2017.
[5] C. Batini and M. Scannapieco, *Data Quality: Concepts, Methodologies and Techniques*, 2016.
[6] R. Y. Wang and D. M. Strong, "Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers," *Journal of Management Information Systems,* vol. 12, pp. 5-33, 1996.
[7] T. C. Redman, *Data Driven: Profiting from Your Most Important Business Asset.* , 2008.
[8] L. P. English, *Improving Data Warehouse and Business Information Quality*, 1999).
[9] C. J. Date, *Introducción a los Sistemas de Bases de Datos. Cap. 8: Integridad.*, 7ma. ed., 2001.
[10] R. S. Pressman, *Ingeniería del Software – Un Enfoque Práctico, Cap. 9: Diseño del software.*, 6ta. ed., 2005..

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Automatización del Diseño 3D para Fabricación Aditiva: Propuesta de un Sistema de Asistencia Inteligente

**Auat, Santiago Alejandro**
**Bruno, Francisco**
**Garreta, Victoria Valentina**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario***

**Abstract**
*Este trabajo presenta una propuesta de desarrollo que permite generar archivos STL ( "Stereolithography" formato de archivo comúnmente utilizado para la impresión 3D y el diseño asistido por computadora.) imprimibles en 3D a partir de un texto descriptivo (prompt) o una imagen, utilizando herramientas de inteligencia artificial. La propuesta busca facilitar el diseño de objetos para usuarios sin conocimientos técnicos avanzados en modelado 3D. Se desarrollará un prototipo funcional que integra modelos generativos y herramientas de conversión a formatos estándar de impresión. Esta iniciativa tiene aplicaciones potenciales en diseño rápido de prototipos, educación, personalización de objetos y accesibilidad en manufactura digital.*

**Palabras Clave**
Impresión 3D, Inteligencia Artificial, Modelado 3D, Generación de STL, Prompt, Imagen .

## Introducción

El avance de la fabricación aditiva ha impulsado la necesidad de herramientas accesibles que simplifiquen la creación de modelos tridimensionales. Para quienes no poseen conocimientos en diseño asistido por computadora (CAD), el proceso de modelado puede convertirse en un obstáculo importante, limitando su participación en proyectos de impresión 3D.

La inteligencia artificial (IA), y en particular las técnicas generativas, ofrecen la posibilidad de producir modelos tridimensionales a partir de descripciones textuales o imágenes, reduciendo significativamente la complejidad técnica. Esta capacidad abre la puerta a una mayor democratización del acceso al diseño 3D, permitiendo que personas sin formación específica puedan crear piezas personalizadas de forma sencilla, listas para ser impresas por una impresora diseñada para ello.

## Desarrollo

La propuesta presentada consiste en el desarrollo de una plataforma web que combine un entorno intuitivo con algoritmos de IA para generar modelos listos para impresión. El sistema estará orientado a quienes se inician en la fabricación aditiva y buscará priorizar la facilidad de uso, la personalización de resultados y la seguridad en el manejo de datos, integrando en un único espacio todo lo necesario para pasar de la idea al modelo imprimible.

A diferencia de las soluciones comerciales existentes, esta propuesta se enfoca en la accesibilidad y la integración directa con la impresión 3D, lo que la hace especialmente relevante en entornos educativos y de emprendimiento. Su implementación permitiría reducir costos y tiempos de diseño, ampliando el acceso a la fabricación digital en contextos donde el uso de herramientas de modelado resulta complejo o poco viable.

La propuesta contempla dos posibles enfoques para la implementación del sistema:

1. Generación de modelos 3D a partir de descripciones textuales: Donde el usuario indica mediante texto el tipo de pieza que necesita — por ejemplo, un

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



soporte, un organizador o un adaptador — y la inteligencia artificial genera automáticamente un modelo tridimensional en base a esa solicitud. Este enfoque se caracteriza por su simplicidad de uso y por requerir un mínimo de conocimientos técnicos por parte del usuario.

2. Reconstrucción tridimensional a partir de imágenes: El usuario carga un conjunto de imágenes del objeto desde distintos ángulos, y el sistema reconstruye su geometría en 3D. Aunque implica un mayor procesamiento y una mayor complejidad técnica, esta alternativa permite obtener modelos a partir de objetos físicos reales.

En ambos casos, se prevé la incorporación de funcionalidades esenciales, como registro de usuario, gestión del historial de modelos generados, la exportación en formatos estándar (.STL) y la posibilidad de compartir o publicar los archivos con otros usuarios dentro de la plataforma. No se incluirá una previsualización del modelo generado, priorizando en cambio la descarga directa y segura. Asimismo, se dará especial importancia a la seguridad, implementando cifrado de archivos, autenticación por roles y protección de datos sensibles.

La arquitectura propuesta se basa en Python como lenguaje principal para el procesamiento de datos y la implementación de la lógica del sistema, complementado con MySQL para la gestión y almacenamiento estructurado de la información. El backend se desarrollará sobre un framework web que facilite la comunicación con los modelos de inteligencia artificial y permita una integración eficiente de servicios externos. Se evaluará la utilización de APIs (del inglés, application programming interface, en español, interfaz de programación de aplicaciones) o modelos preentrenados alojados en plataformas especializadas, con el fin de optimizar tiempos de desarrollo y garantizar resultados de calidad. El frontend será responsivo, intuitivo y orientado a maximizar la accesibilidad, de manera que usuarios con poca experiencia técnica puedan utilizar la plataforma sin dificultades.

El ciclo de trabajo incluirá fases de planificación, implementación, pruebas funcionales y de seguridad, además de despliegue y mantenimiento. También se integrarán métricas internas para el monitoreo del rendimiento y la toma de decisiones, como la cantidad de modelos generados, el tiempo promedio de procesamiento y el porcentaje de errores detectados. De manera opcional, se proyecta incorporar en el futuro funcionalidades adicionales bajo un esquema de suscripción premium.

**Trabajos Relacionados**

El modelado 3D tradicional suele requerir el uso de software especializado como Fusion 360, Tinkercad, Blender o SketchUp, herramientas potentes pero con curvas de aprendizaje pronunciadas, lo que dificulta su adopción por parte de usuarios no técnicos. En el ámbito educativo, plataformas como Tinkercad han buscado simplificar este proceso, aunque ofrecen una personalización limitada y dependen de la intervención manual del usuario.

En cuanto a inteligencia artificial aplicada al diseño 3D, algunos proyectos experimentales como DreamFusion (Google Research) o Point-E (OpenAI) han demostrado la viabilidad de generar modelos tridimensionales a partir de texto o imágenes, aunque no se encuentran disponibles como herramientas abiertas o accesibles para usuarios finales. Más recientemente, han surgido plataformas comerciales potentes como Meshy.ai, que permiten generar modelos 3D a partir de descripciones textuales o referencias visuales y ofrecen funcionalidades de personalización del modelo. Aunque su acceso suele estar limitado a planes pagos y

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



no siempre contemplan un flujo optimizado hacia la impresión 3D. Esto evidencia la brecha existente entre las tecnologías emergentes de IA y las soluciones prácticas orientadas al usuario común.

En este contexto, el presente trabajo busca cubrir ese vacío mediante una propuesta funcional, accesible y adaptable, que aprovecha las capacidades de la IA generativa para facilitar el diseño 3D personalizado sin requerir conocimientos técnicos avanzados.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El proyecto presentado propone una herramienta innovadora para la generación automática de modelos 3D con ayuda de inteligencia artificial, orientada a usuarios novatos en el ámbito de la fabricación aditiva. A través de una plataforma web simple y accesible, se busca reducir las barreras de entrada al diseño tridimensional.

Se espera que la implementación de esta plataforma contribuya a democratizar el acceso a la fabricación aditiva, simplificando el proceso de diseño y reduciendo las barreras técnicas. Asimismo, se proyecta que el sistema ofrezca una experiencia intuitiva, segura y personalizada, con potencial aplicación en sectores como la educación, el emprendimiento y la producción digital descentralizada.

El equipo está conformado por tres estudiantes de Ingeniería en Sistemas, distribuidos en roles de desarrollo backend, diseño de interfaz y documentación técnica. Se adoptará una metodología ágil basada en Scrum, con entregas parciales funcionales. El desarrollo total se estima entre 4 y 6 meses, incluyendo fases de análisis, implementación, pruebas de usuario y despliegue inicial del prototipo.

No obstante, el proyecto aún se encuentra en una etapa preliminar. Las funcionalidades definidas deberán ser desarrolladas e integradas, y el sistema requerirá validación mediante pruebas reales con usuarios. También será necesario evaluar el rendimiento de los modelos generados y ajustar parámetros técnicos en función de la calidad de los resultados obtenidos.

Como líneas de trabajo futuro se destacan:

- La selección e implementación del enfoque más adecuado (por prompt o por imágenes o ambas).
- La integración efectiva de modelos de IA mediante APIs externas o modelos propios.
- El desarrollo incremental de funcionalidades, priorizando la experiencia de usuario y la seguridad.
- La validación práctica mediante pruebas con usuarios reales y prototipado físico en entornos de impresión 3D.

En definitiva, este proyecto busca no solo ofrecer una solución técnica innovadora, sino también contribuir a la democratización del acceso al diseño digital y la fabricación aditiva, generando oportunidades de aprendizaje, creación y desarrollo para una amplia comunidad de usuarios.

**Agradecimientos**
Los autores desean expresar su agradecimiento a los docentes de la Cátedra de Fabricación Aditiva de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario, por su acompañamiento, orientación y compromiso durante el desarrollo de este proyecto.

**Referencias (Times New Roman, 10, negrita).**
[1] Autodesk. “Fusion 360.” https://www.autodesk.com/latam/products/fusion-360/overview
[2] SketchUp. “3D Modeling Software.” https://sketchup.trimble.com/en
[3] Tinkercad. “From mind to design in minutes.” https://www.tinkercad.com/
[4] Google Research. “DreamFusion: Text-to-3D using 2D Diffusion.” arXiv preprint, 2022.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



[5] OpenAI. “Point-E: A System for Generating 3D Point Clouds from Complex Prompts.” OpenAI Labs, 2023.
[6] I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker et al (2010) Additive manufacturing technologies. Springer.
[7]Sawant , M. (2025). Advancements in AI for Text-to-3D Model Generation: A Comparative Study of Meshy.ai and LumaLabs.ai Genie . *International Journal on Advanced Computer Engineering and Communication Technology.*
*[8] Meshy LLC, documentación, https://docs.meshy.ai/en*

**Datos de Contacto:**
Santiago Alejandro Auat, Universidad Tecnológica Nacional Rosario, 2000, santiagoauat@hotmail.com.
Francisco Bruno, Universidad Tecnológica Nacional Rosario, 2000 franciscobruno2123@gmail.com.
Victoria Valentina Garreta, Universidad Tecnológica Nacional Rosario, 2000 vvgarreta@gmail.com.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Propuesta de reasignación estratégica de agentes sociosanitarios en Amaicha del Valle aplicando programación lineal

**Dibi Pablo, Jaluf Rocío, Montilla Tomás y Sachetti Milagros**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**

*Este trabajo presenta un modelo de optimización para la asignación de agentes sociosanitarios en zonas rurales. El objetivo principal fue minimizar la distancia total recorrida por los agentes considerando la accesibilidad y la gravedad de cada paraje. Se aplicó programación lineal utilizando datos reales de la localidad de Amaicha del Valle. Los resultados muestran que es posible optimizar la cobertura sanitaria con recursos limitados. Este enfoque puede ser adaptado a otras regiones con condiciones similares.*

**Palabras Clave**

Agente sociosanitario, paraje, área de responsabilidad, área operativa, variables binarias, programación lineal entera, programación lineal binaria, modelo de asignación.

## Introducción

La población de alta montaña de Amaicha del Valle, perteneciente al Área Operativa Valles Calchaquíes, en la región Oeste de la provincia de Tucumán, tiene problemas para acceder al sistema de salud, debido a sus condiciones de vida y las distancias. En este contexto, surge la figura de los agentes sociosanitarios, quienes constituyen un pilar fundamental como el nexo entre la comunidad y el servicio de salud. Tienen la responsabilidad de viajar a los diferentes parajes, realizando tareas de relevamiento de datos personales, de vivienda, de salud y de la forma de vida de la población, como así también brindar acompañamiento y asistencia en situaciones que lo requieran.

Este trabajo surge a partir del relevamiento realizado, donde se identificaron extensas distancias que deben recorrer para llegar a los parajes. Estos trayectos varían también por la dificultad del terreno, lo que limita la cantidad de visitas y la cobertura efectiva del servicio de salud en dichas zonas. En este documento se presenta una propuesta de reasignación de los agentes sociosanitarios utilizando programación lineal a fin de garantizar la mayor cobertura posible de la localidad de Amaicha del Valle, minimizando las distancias recorridas hasta llegar a cada paraje teniendo en cuenta aspectos como la gravedad de los pacientes y la dificultad para acceder a cada uno; además, reconocer aquellos que podrían ser reasignados a otra área de responsabilidad por su cercanía al centro de salud de dicha área e identificar las áreas operativas donde se requieran más agentes.

La organización del trabajo es la siguiente: en el Marco Conceptual se definen los principales términos utilizados; en el Marco Teórico se detallan los fundamentos de la programación lineal aplicada al modelo de asignación; en el Marco Contextual se exponen los datos considerados para la formulación del modelo; en la sección de Desarrollo - Modelo de asignación se describe la formulación matemática, las variables de decisión, las restricciones, la función objetivo y la solución obtenida con

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Solver; posteriormente, en la Interpretación de la solución, se evalúa la factibilidad de la asignación; en la Conclusión se sintetizan los hallazgos y se plantea la cantidad de agentes necesarios para cumplir con los estándares de cobertura; finalmente, se incluye un Análisis de escenarios alternativos.

**Marco conceptual**

1. Agente sociosanitario: es el nexo entre la comunidad y el sistema de salud, enfocado en prevención y apoyo, con posibilidad de realizar controles básicos en casos puntuales.
2. Alta Montaña: zonas rurales de difícil acceso y gran altitud, donde la geografía complica la llegada del personal médico.
3. Área programática: una unidad territorial que organiza y gestiona los servicios de salud de Tucumán, dividida en cuatro zonas: Oeste, Este, Sur y Centro.
4. Área operativa: subdivisión territorial dentro de un área programática que agrupa localidades para coordinar servicios de salud, como los Valles Calchaquíes en la región oeste de Tucumán.
5. Área de responsabilidad: sector específico dentro de un área operativa atendido por un CAPS o policlínico, con agentes sociosanitarios asignados para cubrir los parajes correspondientes.
6. Paraje: unidad territorial pequeña y dispersa dentro de un área de responsabilidad, compuesta por poblaciones rurales aisladas que reciben atención periódica de agentes sociosanitarios pese a sus largos traslados.
7. SIPROSA: Sistema Provincial de Salud, organismo público encargado de gestionar y prestar servicios de salud en Tucumán.
8. Estado crítico: representa la gravedad de cada paraje considerando la cantidad de personas con enfermedades crónicas no transmisibles.

**Marco teórico**

**Modelo de asignación:** Es un caso particular de programación lineal que se emplea para distribuir recursos limitados (como los agentes sociosanitarios) a tareas específicas (visitas a los parajes), de forma tal que se minimice la distancia recorrida. Este modelo garantiza que cada paraje sea cubierto por un al menos un agente, y que cada agente tenga asignaciones acordes a su capacidad, buscando la eficiencia en la cobertura del territorio con los recursos humanos disponibles.

**Programación lineal Entera**: Es una técnica matemática que permite optimizar una función objetivo sujeta a restricciones. Cuando se requiere que las variables de decisión sean enteras, se utiliza PLE. En este trabajo, se aplica esta herramienta para asignar agentes sociosanitarios a distintos parajes, minimizando las distancias recorridas. El modelo tiene en cuenta condiciones como la cobertura total de parajes, la edad de los agentes, la dificultad del terreno, la cantidad mínima de visitas y la gravedad de los pacientes, y selecciona la combinación más eficiente.

**Programación lineal binaria**: Es un caso especial de la programación lineal en la cual las variables de decisión sólo pueden

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



tomar los valores **0 o 1**. En este trabajo se utiliza para definir las combinaciones posibles entre agentes y parajes, si el paraje es de alta montaña, si el paciente está en estado crítico y si es un mes invernal, permitiendo identificar qué asignaciones son las más eficientes en función del objetivo de minimizar distancias.

**Marco contextual**

Este trabajo busca optimizar la distribución de agentes sociosanitarios mediante un modelo de programación lineal, para minimizar las distancias recorridas y asegurar una cobertura equitativa en la región. Actualmente, la asignación se realiza sin considerar estas distancias, por lo que no es óptima. Por ello, se propone diseñar un plan de asignación que mejore esta situación y cumpla con los objetivos planteados.

Los datos que se van a utilizar en el modelo son los siguientes:

1. **Las áreas de responsabilidad y sus parajes:** El SIPROSA establece tres áreas de responsabilidad en Amaicha del Valle, las cuales agrupan un total de 16 parajes.[1][6]
2. **Las distancias entre las áreas de responsabilidad y los parajes:** distancias aproximadas desde los CAPS a cada paraje, considerando tanto los tramos por ruta como a pie [2].
3. **La cantidad de agentes por cada área de responsabilidad:** indica cuántos agentes están asignados actualmente a cada área de responsabilidad.[1]
4. **Población de cada área de responsabilidad:** Es el número de habitantes que residen dentro de un área de responsabilidad.[4]
5. **Número de personas con enfermedades crónicas no transmisibles por área de responsabilidad:** en base a este valor, podemos determinar la frecuencia mínima de visita ya que enfermedades como Diabetes, Hipertensión u Obesidad son determinantes.[5]
6. **Cantidad mínima de agentes asignados por paraje:** Se establece considerando la población de cada paraje para asegurar la máxima cobertura posible del servicio de salud.
7. **Cantidad máxima de agentes asignados por paraje:** Se establece considerando la población de cada paraje para asegurar la máxima cobertura posible del servicio de salud.
8. **Un registro de los agentes sociosanitarios considerando su edad y capacidad física**: se considera que los agentes mayores de 50 años no deben ser asignados a los parajes que se encuentran en alta montaña para evitar que comprometan su salud o el cumplimiento efectivo de la tarea.[7]
9. **Ponderación de gravedad de cada paraje:** se establece un sistema de puntuación que considera factores como la cantidad de población afectada por enfermedades crónicas no transmisibles y la ubicación geográfica del paraje, especialmente si se encuentra en una zona de alta montaña.[8]

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



10. **Ponderación de la accesibilidad a cada paraje:** se asigna un mayor peso a los parajes con acceso parcial, donde el agente debe recorrer tramos a pie, aplicando un factor de 1,5 por kilómetro. Los accesos totalmente vehiculares tienen una ponderación base de 1.[3]
11. **Ponderación definitiva (PD):** es un valor compuesto que considera la distancia al paraje (1 punto por kilómetro) y las dos ponderaciones anteriores.[8]

**Desarrollo - Modelo de asignación**

**Variables de decisión**

- $X_{ij}$: $i$ representa el número de agente sociosanitario y $j$ a los parajes.
  **i**=1,2,3…12, **j**=1,2,3…17.
- $X_{ij} \in \{0, 1\}$: es 1 si el agente i visita el paraje j, 0 en caso contrario.

**Restricciones**

1. Los agentes mayores a 50 años no pueden ser asignados a parajes de alta montaña.

$$\sum_{j \epsilon AM} X_{ij} = 0, \ \forall i = 1, 2, 3, 4 \ \wedge$$

$$AM = \{2, 3, 4, 5, 6, 11, 15, 16, 17$$

2. Los agentes menores a 50 años pueden ser asignados hasta a 2 parajes de alta montaña.

$$\sum_{j \epsilon AM} X_{ij} \leq 2, \ \forall i = 5, 6 \ldots 12 \ \wedge$$

$$AM = \{2, 3, 4, 5, 6, 11, 15, 16, 17\}$$

3. Los agentes deben ser asignados a al menos 2 parajes.

$$\sum_{j=1}^{17} X_{ij} \geq 2 \ \ \forall i = 1, 2 \ldots 12$$

4. Los agentes pueden ser asignados a un máximo de tres parajes.

$$\sum_{j=1}^{17} X_{ij} \leq 3 \ \ \forall i = 1, 2 \ldots 12$$

5. La mínima cantidad de agentes que deben visitar un paraje está dado por:

$$\sum_{i=1}^{12} X_{ij} \geq \lceil \frac{P_j}{200} \rceil \ \ \forall j = 1, 2 \ldots 17$$

6. La máxima cantidad de agentes que deben visitar un paraje está dada por:

$$\sum_{i=1}^{12} X_{ij} <= \lceil \frac{P_j}{50} \rceil \ \forall j = 1, 2 \ldots 17$$

**Función objetivo**

La función objetivo se define como la suma de los coeficientes económicos (PD), que representan el nivel de dificultad para que el agente *i* atienda el paraje *j* multiplicado por la variable binaria.
Se expresa de la siguiente manera:

$$Min\, z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{17} PD_{ij} \cdot x_{ij}$$

**Solución del modelo**

Una vez ingresado y luego ejecutado el modelo en Excel mediante Solver, se obtienen los resultados correspondientes a cada variable de decisión.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



$X_{17} = 1$ $X_{113} = 1$ $X_{114} = 1$

$X_{27} = 1$ $X_{28} = 1$ $X_{213} = 1$

$X_{37} = 1$ $X_{313} = 1$ $X_{314} = 1$

$X_{47} = 1$ $X_{412} = 1$ $X_{413} = 1$

$X_{52} = 1$ $X_{53} = 1$ $X_{513} = 1$

$X_{61} = 1$ $X_{64} = 1$ $X_{65} = 1$

$X_{71} = 1$ $X_{76} = 1$ $X_{717} = 1$

$X_{87} = 1$ $X_{814} = 1$ $X_{816} = 1$

$X_{97} = 1$ $X_{914} = 1$ $X_{915} = 1$

$X_{109} = 1$ $X_{1111} = 1$ $X_{1210} = 1$

**Interpretación de la solución**

La implementación del modelo permitió obtener una solución factible para la distribución de los 12 agentes sociosanitarios entre los 17 parajes, asegurando que cada uno de ellos recibiera cobertura por al menos un agente. Esta distribución se realizó considerando criterios clave como la gravedad sanitaria, la distancia y las condiciones de accesibilidad de cada zona.

La asignación propone un plan mensual de visitas en el que cada agente debe cubrir tres parajes, garantizando así la cobertura total de la población de la localidad de Amaicha del Valle.

Las áreas de responsabilidad de Amaicha del Valle y Los Zazos, requieren el apoyo de agentes provenientes de Ampimpa, y Amaicha del Valle, además, de agentes de Los Zazos. Esto es así debido a que ambas áreas no cuentan con la cantidad suficiente de agentes para dar cobertura total a sus respectivos territorios.

La asignación actual representa la mejor distribución posible con los agentes disponibles, aunque se evidencia una importante sobrecarga, ya que deben atender una población significativamente mayor a la recomendada por los estándares sanitarios.

Además, se cumplieron las restricciones asociadas a la accesibilidad del terreno y a las condiciones físicas del personal. En particular, los agentes mayores de 50 años no fueron asignados a parajes de alta montaña, priorizando su bienestar físico y la viabilidad operativa del plan.

Con el objetivo de mejorar la situación actual, en la que los agentes se encuentran asignados de manera poco óptima, se propone la siguiente reasignación, que busca lograr una distribución más eficiente teniendo en cuenta las distancias a recorrer y la gravedad sanitaria de cada paraje:

- **Agente 1**, del CAPS Amaicha: Villa Amaicha, El Tío, Los Zazos.
- **Agente 2**, del CAPS Amaicha: Villa Amaicha, El Tío, Tiu Punco de Arriba.
- **Agente 3**, del CAPS Amaicha: Villa Amaicha, El Tío, Los Zazos.
- **Agente 4**, del CAPS Amaicha: Villa Amaicha, El Tío, La Salamanca.
- **Agente 5**, del CAPS Ampimpa: Molle Yaco, El Tío, Salas.
- **Agente 6**, del CAPS Ampimpa: Ampimpa, El Chaupiñan, Los Cardones de Arriba.
- **Agente 7**, del CAPS Ampimpa: Ampimpa, El Infiernillo, Los Cardones de Abajo.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Agente 8**, del CAPS Los Zazos: Villa Amaicha, El Remate, Los Zazos.
- **Agente 9**, del CAPS Los Zazos: Villa Amaicha, La Fronterita, Los Zazos.
- **Agente 10**, del CAPS Colalao del Valle: Tiu Punco de Abajo.
- **Agente 11**, del CAPS Quilmes: Yasyamayo.
- **Agente 12**, del CAPS El Bañado: Encalilla.

Asimismo, se recomienda realizar los siguientes ajustes en la asignación de los parajes a las áreas operativas correspondientes:

- El paraje **Yasyamayo** debe pasar a depender del **CAPS Quilmes**.
- El paraje **Encalilla** debe pasar a depender del **CAPS El Bañado**.
- El paraje **Tiu Punco de Abajo** debe pasar a depender del **CAPS Colalao del Valle**.

Estas acciones tienen como objetivo optimizar la cobertura territorial, reduciendo las distancias que deben recorrer los agentes y evitando que personal del CAPS Amaicha del Valle deba atender parajes que, por criterios geográficos y operativos, deberían estar asignados a otras áreas de responsabilidad.

**Conclusión y Trabajos Futuros**

El modelo actual evidencia que los agentes se encuentran sobrecargados, con una asignación promedio de 323 personas por agente, muy por encima de las recomendaciones. Según la bibliografía especializada, un agente sociosanitario debería estar a cargo de aproximadamente 100 personas en zonas urbanas y unas 50 en zonas rurales y de difícil acceso como los Valles Calchaquíes, debido a las grandes distancias y baja densidad poblacional.

Por lo tanto, una posible solución viable es incrementar la cantidad de personal en todas las áreas operativas. Se estima que se necesitan un total de 78 agentes sociosanitarios, distribuidos de la siguiente manera:

- **51 agentes** para Amaicha del Valle
- **18 agentes** para Los Zazos
- **9 agentes** para Ampimpa

Esta propuesta permitirá alcanzar una distribución completa del recurso humano, garantizando una atención sanitaria equitativa y sostenible en el tiempo, respetando los límites físicos de los agentes y las particularidades territoriales de cada paraje.

Por otro lado, para evitar que los agentes pertenecientes a una determinada área de responsabilidad deban cubrir parajes de otra área operativa debido a la alta densidad poblacional, se recomienda incorporar 6 agentes para Amaicha del Valle y Los Zazos, 3 para cada uno respectivamente.

Es importante aclarar que esta recomendación tiene como objetivo principal evitar el traslado de agentes fuera de su área operativa asignada, y no responde directamente a la carga laboral individual de cada agente.

**Análisis de escenarios alternativos**

Se evaluaron distintos escenarios alternativos que contemplan tanto la incorporación como la desvinculación de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



personal. A continuación, se presentan los resultados del análisis de cuatro situaciones específicas, considerando su impacto en la distribución de agentes, la cantidad de refuerzos necesarios y la carga promedio de pacientes por agente.

1. **Incorporación de un agente en Amaicha del Valle:**

   Al sumar un agente en Amaicha, la necesidad de refuerzos desde otras zonas disminuye: solo se requiere un agente desde Los Zazos y ninguno desde Ampimpa. El nuevo agente cubre los parajes Villa Amaicha, El Tío y Los Zazos.

   Con esta incorporación, el mínimo de agentes adicionales necesarios baja a 4 (1 en Amaicha del Valle y 3 en Los Zazos) y el promedio de pacientes por agente desciende a 299.

2. **Incorporación de un agente en Ampimpa:**

   Este agente asiste también a Villa Amaicha y El Tío, reforzando la cobertura en Amaicha del Valle. Se le asignan los parajes Ampimpa, Villa Amaicha y El Tío.

   La cantidad mínima de agentes a incorporar también se reduce a 4 (1 en Amaicha del Valle y 3 en Los Zazos), con un promedio de 299 pacientes por agente.

3. **Incorporación de un agente en Los Zazos:**

   Este nuevo agente también refuerza la zona de Amaicha, asignado a Los Zazos, Villa Amaicha y El Tío.

   La situación es similar: 4 agentes adicionales necesarios (1 en Amaicha y 3 en Los Zazos), con un promedio de 299 pacientes por agente.

4. **Jubilación de un agente mayor de 50 años:**

   La salida de un agente en Amaicha implica que su carga es absorbida por otro agente de la misma área. Esto aumenta el promedio a 353 pacientes por agente y mantiene la necesidad de incorporar 6 agentes (2 en Amaicha del Valle y 4 en Los Zazos).

El análisis de escenarios muestra que incorporar un agente adicional en cualquiera de las tres áreas —Amaicha del Valle, Ampimpa o Los Zazos— mejora significativamente la cobertura sanitaria, reduciendo la cantidad de agentes extra necesarios a solo cuatro y bajando el promedio de pacientes atendidos por agente a 299. En cambio, la baja de un agente mayor de 50 años, como en el caso de una jubilación, incrementa la sobrecarga laboral, elevando el promedio a 353 pacientes por agente y manteniendo la necesidad de incorporar seis agentes. Estos resultados destacan la importancia de sumar personal.

Cabe destacar que este modelo fue desarrollado utilizando una cantidad reducida de agentes y áreas operativas, pero su estructura es escalable y puede extrapolarse a contextos más amplios. La metodología permite ser aplicada a todo el territorio de los Valles Calchaquíes, incluyendo a la totalidad de los agentes sociosanitarios, con el objetivo de

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



optimizar la cobertura sanitaria regional de forma integral.

**Referencias**

[1] Áreas operativas de Amaicha del Valle y las distancias – Pestaña 1. (s.f.). *Google Docs*. https://docs.google.com/document/d/1SSbswlm_HopdrbPCCV0j70UCz9rNqDDLBXhFvha7_34/edit?tab=t.0

[2] Áreas operativas de Amaicha del Valle y las distancias – Pestaña 2. (s.f.). *Google Docs*. https://docs.google.com/document/d/1SSbswlm_HopdrbPCCV0j70UCz9rNqDDLBXhFvha7_34/edit?tab=t.1r82dmhm3yfm

[3] Áreas operativas de Amaicha del Valle y las distancias – Pestaña 3. (s.f.). *Google Docs*. https://docs.google.com/document/d/1SSbswlm_HopdrbPCCV0j70UCz9rNqDDLBXhFvha7_34/edit?tab=t.zewmncuholuk

[6] Ministerio de Salud Pública de Tucumán. (2020, abril 13). *Asignación Programada por Área Operativa - APOV10*. https://msptucuman.gov.ar/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/APOV1020200413_SD.pdf

[7] Áreas operativas de Amaicha del Valle y las distancias – Pestaña 5. (s.f.). *Google Docs*. https://docs.google.com/document/d/1SSbswlm_HopdrbPCCV0j70UCz9rNqDDLBXhFvha7_34/edit?tab=t.vr2stul89v5l

[8] Áreas operativas de Amaicha del Valle y las distancias – Pestaña 6. (s.f.). *Google Docs*. https://docs.google.com/document/d/1SSbswlm_HopdrbPCCV0j70UCz9rNqDDLBXhFvha7_34/edit?tab=t.auge6510k6nj

**Anexos**

El modelo desarrollado y su solución pueden consultarse en el siguiente enlace:

Propuesta_Reasignación_Agentes_Sociosanit…

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Tutor de lectura infantil con IA

**Palma, Emilce Rocio – Rodriguez, Camila**

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán*

## Abstract

*La lectura en voz alta durante la infancia es clave en el desarrollo educativo, pero muchos niños enfrentan dificultades fonológicas que suelen pasar desapercibidas. Este trabajo presenta un tutor de lectura infantil basado en inteligencia artificial que combina reconocimiento de voz, visión computacional, lógica difusa y un sistema experto para evaluar de forma integral la fluidez, atención y emociones del lector. El sistema funciona en tiempo real con dispositivos móviles, y genera retroalimentación personalizada a partir del análisis multimodal del desempeño. Esta propuesta representa un aporte innovador y accesible para acompañar el proceso de alfabetización desde una perspectiva tecnológica y pedagógica.*

## Palabras clave

lectura infantil – inteligencia artificial – reconocimiento de voz – visión por computadora – lógica difusa – sistema experto – fluidez lectora – retroalimentación personalizada – tutor virtual – alfabetización temprana

## 0 Introducción

El aprendizaje de la lectura en edades tempranas representa uno de los pilares más relevantes en la formación educativa y el desarrollo integral de los niños. Diversos estudios y organismos internacionales destacan que una base sólida en literatura temprana no solo mejora la adquisición de vocabulario y habilidades de comunicación, sino que también influye en el desempeño académico futuro y el desarrollo socioemocional. La exposición temprana a la lectura favorece la comprensión auditiva, la sensibilidad a los sonidos del lenguaje y la capacidad para comprender y reflexionar sobre historias, fundamentales para la alfabetización exitosa.[1]

No obstante, a pesar de la importancia de este proceso, muchos estudiantes en contextos con limitada supervisión personalizada evidencian dificultades fonológicas, deficiencias de entonación, ritmo o fluidez, las cuales pueden pasar inadvertidas. Problemas como la discriminación fonémica, la conciencia prosódica o las pausas incorrectas afectan la decodificación y la comprensión lectora, llegando incluso a incidir en el desarrollo posterior del aprendizaje de otras disciplinas. [2]

Frente a este desafío, surge la necesidad de implementar herramientas tecnológicas que brinden apoyo personalizado y lúdico para mejorar la lectura en voz alta en niños. Por ello, el presente trabajo presenta la **propuesta de desarrollo y diseño** de un tutor de lectura infantil basado en inteligencia artificial para evaluar la fluidez lectora.

El sistema propuesto se organiza en cuatro módulos principales, que trabajan en conjunto para evaluar la lectura infantil y brindar retroalimentación educativa. El **módulo de visión por computadora**, basado en redes neuronales convolucionales (CNN). El **módulo de reconocimiento de voz** convierte el habla en texto y analiza la pronunciación y velocidad lectora. El **módulo de lógica difusa** permite interpretar con mayor flexibilidad aspectos como la fluidez y la entonación. Finalmente, el **sistema experto** integra los resultados de los demás módulos y genera recomendaciones adaptadas al desempeño del niño.

## 1 Propuesta de solución

La propuesta de sistema integra cuatro módulos principales que operan de forma coordinada para evaluar la fluidez lectora infantil. Se apoya en una arquitectura de hardware accesible, basada en dispositivos móviles con cámara y micrófono integrados, y modelos de inteligencia artificial optimizados para funcionar en tiempo real, tanto localmente como en la nube.

## 2 Módulo de Análisis de Audio

El módulo de análisis de audio para la evaluación de lectura infantil se fundamenta en el uso de tecnologías avanzadas de reconocimiento automático de voz (ASR), enfocado en la transcripción del habla a texto.

El ASR aplicado a la infancia presenta desafíos particulares debido a las características acústicas propias

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





del habla infantil, la variabilidad en la pronunciación, la evolución del desarrollo lingüístico y las diferencias prosódicas que influyen en la fluidez. Por esta razón, se requiere el uso de arquitecturas de redes neuronales adaptadas, como las basadas en modelos RNN-LSTM o Transformers. Para esta propuesta, se plantea el fine-tuning de modelos preentrenados como Whisper de OpenAI o Wav2Vec 2.0, ajustándolos a las particularidades del habla infantil hispanohablante a través de un dataset propio.

La arquitectura del módulo integrará tres componentes principales. El primero es el sistema ASR, que recibe señales de audio digitalizadas a 16 kHz, el texto de referencia y metadatos (edad, nivel). Se realizará una extracción de características acústicas, principalmente mediante coeficientes Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) [3], seguida por la red neuronal para el reconocimiento y la alineación forzada entre audio y texto.

El segundo componente es el análisis prosódico, fundamental para la fluidez. Este análisis incluirá la medición de parámetros:

- **Temporales:** Duración de fonemas y pausas.
- **Rítmicos:** Patrones de acentuación y variabilidad temporal.
- **Fluidez general:** Velocidad de lectura y índice de pausas.

Para la extracción de estos parámetros se utilizarán librerías especializadas en análisis fonético/acústico, como OpenSMILE o Praat, para alimentar redes neuronales profundas entrenadas específicamente para el modelado prosódico infantil.

El tercer componente se centrará en la detección y clasificación automática de errores de lectura (omisiones, sustituciones, inserciones y autocorrecciones), permitiendo calcular métricas de precisión.

## 3 Módulo de Reconocimiento Visual

El sistema de reconocimiento visual operará a partir del procesamiento de videos capturados mientras el niño lee. Mediante el uso de **Redes Neuronales Convolucionales (CNN)** especializadas, como **MobileNetV2** [4], las imágenes se analizarán en tiempo real para obtener información relevante sobre el comportamiento visual y emocional del lector.

El análisis incluirá el **seguimiento ocular computacional** para detectar patrones de fijación, movimientos sacádicos y episodios de distracción, indicando el nivel de atención visual.

Complementariamente, se realizará un estudio de las **expresiones faciales** para inferir estados emocionales (concentración, frustración, satisfacción o fatiga), lo cual es clave para interpretar el grado de compromiso y correlacionarlo con la dificultad del texto. Finalmente, el modelo incorporará un **análisis de sincronización audio-visual** para evaluar la coherencia entre el movimiento de los labios y la emisión del habla, proporcionando información sobre la articulación.

De este modo, el sistema ofrecerá una evaluación integral que combina **atención visual, estado emocional y expresión verbal**, permitiendo una comprensión más profunda del desempeño lector infantil.

## 4 Módulo de Lógica Difusa

El módulo de lógica difusa tendrá como propósito integrar y procesar la información proveniente de los módulos de audio y reconocimiento visual para estimar de manera comprensiva el nivel de fluidez lectora. Su principal ventaja es que permitirá trabajar con **grados de pertenencia**, a diferencia de la lógica binaria, representando la ambigüedad inherente al comportamiento humano [5].

El sistema recibirá como entradas variables extraídas del análisis de desempeño (velocidad de lectura, precisión, duración de pausas, nivel de atención visual y estado emocional). Estas variables se transforman en conjuntos difusos mediante **funciones de pertenencia** que asignan grados intermedios a categorías lingüísticas como ”lenta”, ”fluida” o ”alta precisión”.

Para formalizar la evaluación, se empleará un motor de inferencia basado en reglas del tipo SI... ENTONCES. El rigor de la propuesta se ejemplifica con la variable de entrada **Velocidad de Lectura** (medida en palabras correctas por minuto, WCPM). Se define el universo del discurso: U = [0, 100] WCPM

Las categorías lingüísticas —*Lenta*, *Adecuada* y *Rápida*— se representan mediante funciones de pertenencia $\mu$ triangulares o trapezoidales:

- $\mu_{\text{Lenta}}(\text{WCPM}) = 1$ para WCPM $\leq 15$ y decrece linealmente hasta 0 en WCPM $= 35$.
- $\mu_{\text{Adecuada}}(\text{WCPM}) = 1$ en el intervalo $45 \leq \text{WCPM} \leq 65$.
- $\mu_{\text{Rápida}}(\text{WCPM})$ crece a partir de WCPM $= 70$ y alcanza 1 en WCPM $\geq 90$.

### Ejemplo de Reglas de Inferencia

Regla 1: **SI** Precisión de Pronunciación es Alta **Y** Velocidad de Lectura es Adecuada **Y** Emoción Detectada es Concentración $\Rightarrow$ Fluidez General es Alta

Regla 2: **SI** Precisión de Pronunciación es Baja **Y** Emoción Detectada es Frustración $\Rightarrow$ Engagement es Bajo

Una vez procesadas por el motor de inferencia, las salidas del módulo incluyen no solo el nivel global de fluidez, sino también una estimación del nivel de comprensión, el grado de **engagement** o implicación, y la confianza del sistema en la evaluación. El uso de lógica difusa permite así una interpretación más matizada y realista, adaptándose a las variaciones individuales y a la naturaleza incierta de los indicadores evaluados.

## 5 Módulo de Sistema Experto

El módulo del sistema experto constituye el componente decisional del tutor de lectura infantil. Su función principal es interpretar los resultados procesados por los

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





módulos previos —audio, visual y lógica difusa— y generar intervenciones pedagógicas adaptadas al perfil y desempeño del niño. Para ello, se apoya en una base de conocimiento construida a partir de reglas heurísticas del tipo SI...ENTONCES, desarrolladas en colaboración con docentes de nivel inicial y especialistas en alfabetización infantil.

Estas reglas modelan estrategias comunes del ámbito educativo, permitiendo que el sistema reaccione ante patrones específicos de comportamiento lector. Por ejemplo, si se detecta una combinación de baja fluidez y señales emocionales negativas, el sistema puede sugerir una pausa o la asistencia mediante lectura guiada. En cambio, si el desempeño es alto, la respuesta puede orientarse a reforzar positivamente la experiencia del niño mediante estímulos como felicitaciones o actividades lúdicas complementarias.

El motor de inferencia del sistema experto analiza estos patrones considerando tanto el desempeño puntual en la sesión como el historial del estudiante, lo que permite una retroalimentación contextualizada y personalizada. De esta manera, el módulo no solo ofrece recomendaciones inmediatas para mejorar la lectura, sino que también adapta progresivamente las estrategias según la evolución individual del niño. En conjunto, este enfoque permite que el tutor de lectura se convierta en una herramienta pedagógica flexible, capaz de acompañar el proceso de alfabetización con sensibilidad a las necesidades y ritmos de cada lector en formación.

## 6 Hardware y Software

Se propone el desarrollo de un sistema inteligente de apoyo a la lectura infantil, diseñado para funcionar en dispositivos móviles comunes (teléfonos y tabletas). Este enfoque garantiza la accesibilidad, portabilidad y facilidad de implementación en diversos contextos educativos, tanto en el hogar como en instituciones escolares.

El sistema aprovechará las capacidades integradas de los dispositivos móviles para capturar y procesar información relevante durante la lectura:

- **Cámara frontal:** se utilizará para registrar el rostro del niño mientras lee. A partir de estas imágenes, el sistema analizará el nivel de atención, movimiento de labios y expresiones faciales, a fin de detectar señales de comprensión o frustración. Se recomienda una cámara de al menos 5 megapíxeles, estándar en la mayoría de los dispositivos fabricados desde 2019.
- **Micrófono:** su función será capturar la voz del usuario para realizar el reconocimiento y análisis del habla. Se sugiere un micrófono de buena sensibilidad y un entorno relativamente silencioso. En caso de requerir mayor precisión, se podrá utilizar un micrófono externo Bluetooth.
- **Pantalla táctil:** permitirá la interacción directa del niño con el sistema. La interfaz será clara, atractiva y adaptada a la edad del usuario, con colores e íconos llamativos. Se recomienda un tamaño mínimo de 5.5 pulgadas en teléfonos y 7 pulgadas en tabletas.

El sistema estará compuesto por dos módulos principales:

- **Frontend:** Se desarrollará una aplicación web progresiva (PWA) utilizando React Native. Esto permite su instalación en dispositivos iOS y Android desde una única base de código. La aplicación se encarga de capturar el audio y video, mostrar el texto de lectura y presentar la retroalimentación al usuario.
- **Backend:** Se diseñara con una arquitectura de microservicios implementada en Python, compuesta por los siguientes componentes:
  - **API Principal:** Un servicio basado en Flask o FastAPI gestionará las peticiones del cliente, la autenticación de usuarios y la orquestación de los demás servicios.
  - **Servicios de Inteligencia Artificial:**
    - **Procesamiento de Audio:** Utilizará el modelo Whisper de OpenAI (fine-tuned) para la transcripción y el análisis prosódico.
    - **Procesamiento de Video:** Empleará modelos de la librería MediaPipe de Google y una red MobileNetV2 (fine-tuned) para el análisis facial y de atención.
  - **Base de Datos:** Se utilizará Firebase Firestore para almacenar los datos del usuario, el progreso y los textos.
- **Alojamiento (Hosting):** La infraestructura del backend se desplegará en la nube, utilizando servicios como Google Cloud Platform (GCP) o Amazon Web Services (AWS) para garantizar la escalabilidad del procesamiento de IA.

## 7 Conjunto de Datos y Entrenamiento

Para el entrenamiento de los modelos de inteligencia artificial involucrados en el sistema, se emplearán tanto conjuntos de datos públicos como datasets propios obtenidos mediante grabaciones controladas. Entre los datasets disponibles, se utilizará el **CMU Kids Corpus**, que contiene registros de voz infantil en inglés, y la **Torgo Database**, útil para modelar variaciones fonológicas asociadas a trastornos del habla. A fin de adaptar el sistema al contexto hispanohablante, se construirá un **dataset propio en español**, compuesto por lecturas de cuentos realizadas por niños de distintos niveles escolares, grabadas en entornos controlados.

El reconocimiento automático de voz se desarrollará mediante **fine-tuning de modelos preentrenados**, como **Whisper** de OpenAI o **Wav2Vec 2.0**, permitiendo ajustar los modelos a las particularidades acústicas del habla infantil. En el componente visual, se aplicará **transfer learning** sobre arquitecturas convolucionales como **MobileNetV2**, con el objetivo de optimizar el reconocimiento de atención visual y la lectura labial a partir de datos reales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





## 8 Funcionamiento

El Tutor de Lectura Infantil con IA está diseñado para acompañar a los niños mientras leen en voz alta, ofreciendo retroalimentación automática basada en el análisis audiovisual de su desempeño.

Durante la sesión, el niño se coloca frente a un dispositivo móvil con cámara y micrófono integrados. La cámara frontal captura en tiempo real las imágenes del rostro, mientras que el micrófono graba el audio de la lectura. Estos datos se procesan en tiempo real, ya sea localmente o en la nube, según las capacidades del dispositivo.

El audio es convertido a texto mediante un modelo de reconocimiento automático de voz (ASR), que compara lo leído con el texto original para detectar errores de pronunciación, omisiones o pausas. Paralelamente, el video es analizado mediante redes neuronales que evalúan la atención visual, la sincronización del movimiento de labios con el habla y las expresiones faciales que reflejan concentración o frustración.

Los resultados del análisis auditivo y visual se integran en el módulo de lógica difusa, que evalúa variables como velocidad, precisión y fluidez, para asignar un nivel cualitativo de desempeño: bajo, medio o alto.

Finalmente, esta información se envía al sistema experto, que, mediante reglas pedagógicas desarrolladas con especialistas, decide las acciones adecuadas para cada caso. Por ejemplo, puede sugerir mensajes de aliento o actividades de refuerzo cuando detecta dificultades, o bien ofrecer felicitaciones y juegos como recompensa ante un buen desempeño.

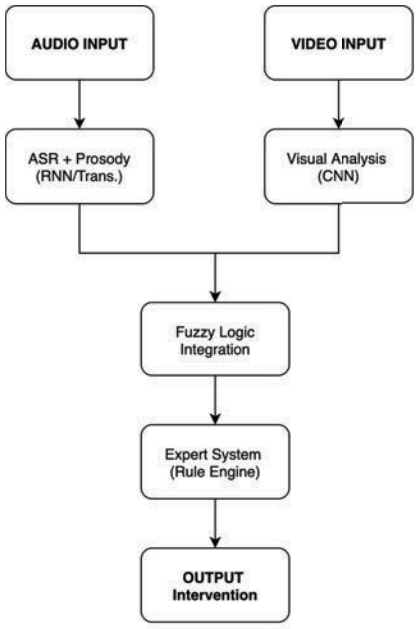



Fig. 1. Relación entre módulos

## 9 Trabajos Relacionados

Actualmente, varias plataformas incorporan tecnologías de inteligencia artificial para apoyar el aprendizaje de la lectura en niños de educación primaria, aunque con diferentes enfoques y niveles de integración tecnológica [6]. Por ejemplo, Amira Learning es una plataforma reconocida que utiliza reconocimiento automático de voz para evaluar la lectura en voz alta, proporcionando retroalimentación inmediata que ayuda a mejorar la fluidez y la precisión fonológica de los estudiantes. Estudios y reportes técnicos destacan su eficacia en entornos escolares, aunque su arquitectura no incorpora un análisis visual avanzado ni el uso de lógica difusa para gestionar la incertidumbre en la interpretación de errores fonéticos. [7]

Otra solución destacada es Readability, que combina reconocimiento de voz con sistemas adaptativos para personalizar la experiencia educativa de cada niño. Este sistema se centra en la detección y corrección de errores a partir del audio, pero no incluye visión computacional para el seguimiento de elementos visuales — como el movimiento de labios o indicadores de atención — que podrían enriquecer la validación de la lectura en modalidad remota. [8]

Por su parte, Khanmigo, tutor de inteligencia artificial desarrollado por Khan Academy, incorpora mecanismos de procesamiento avanzado del lenguaje natural para interactuar con los estudiantes en actividades relacionadas con la lectura y otros campos del conocimiento. Sin embargo, no se ha divulgado un uso específico de redes neuronales convolucionales ni de lógica difusa para el procesamiento multimodal que combine video y audio, limitando así su capacidad de evaluación integral durante la lectura en voz alta. [9]

## 10 Lineas de trabajo futuro

El Tutor de Lectura Infantil con Inteligencia Artificial tiene potencial para seguir mejorando. Estas son algunas ideas para desarrollos futuros:

- **Mejora del sistema experto:** Se buscará validar y enriquecer las reglas del sistema con ayuda de docentes, para que las sugerencias pedagógicas se ajusten mejor a cada estudiante. También se podría adaptar el sistema según diferentes estilos de aprendizaje.
- **Aspectos éticos en el uso de datos infantiles:** Para crear una base de datos propia en español, será necesario aplicar protocolos de consentimiento, protección de datos y anonimato, cumpliendo las leyes locales sobre el tratamiento de información de menores.
- **Adaptación para niños con dislexia:** Se evaluará cómo ajustar el sistema para detectar patrones asociados a la dislexia y ofrecer retroalimentación más adecuada para estos casos, con actividades específicas y reglas ajustadas.
- **Aprendizaje continuo:** A futuro, el sistema podría mejorar con cada nueva lectura, entrenando sus modelos de forma incremental, siempre cuidando la privacidad de los datos y su correcto uso.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026





Estas ideas permitirán hacer del tutor una herramienta más útil, flexible y accesible para distintos contextos educativos.

## 11 Conclusión

La propuesta de este Tutor de Lectura basado en inteligencia artificial busca repensar profundamente la forma en que se evalúa y acompaña el aprendizaje de lectura en niños. Al integrar tecnologías de visión artificial, procesamiento del lenguaje natural y sistemas expertos construidos sobre principios pedagógicos, se plantea una herramienta accesible, adaptable y diseñada para ajustarse al ritmo, estilo y necesidades individuales de cada niño en proceso de alfabetización.

Este enfoque permite no solo evaluar indicadores como la fluidez lectora, la atención sostenida y las expresiones emocionales durante la lectura, sino también ofrecer una retroalimentación personalizada que contribuya a mejorar el desempeño lector desde etapas tempranas. De esta manera, se busca prevenir consecuencias comunes del bajo rendimiento lector—como la frustración, el retraimiento en el aula o el rezago académico—mediante un acompañamiento más sensible y contextualizado.

## 12 REFERENCES

[1] LENA Foundation, "What is Early Literacy in Early Childhood?" https://www.lena.org/resources/blog-posts/what-is-early-literacy-in-early-childhood/ (2021), accessed: 2025-07-23.

[2] Gail T. Gillon, "Phonological awareness: From research to practice," *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, vol. 35, no. 3, pp. 201–211 (2004), accessed: 2025-07-23.

[3] Carmen Rodríguez, "Reconocimiento del habla en niños mediante coeficientes MFCC," http://lorien.die.upm.es/barra/pfcs/2007-carmenr/docs/proyecto.pdf (2007), proyecto Fin de Carrera, UPM. Accessed: 2025-07-23.

[4] Dong, K. and Zhou, C. and Ruan, Y. and Li, Y., "MobileNetV2 Model for Image Classification," presented at the *2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA)*, pp. 476–480 (2020), doi:https://doi.org/10.1109/ITCA52113.2020.00106.

[5] M. I. CÉSARI, S. PEREZ, "Soluciones Metodológicas para el Análisis de Datos Imprecisos: Lógica Difusa y R-Shiny," *AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)*, , no. AJEA 37 (2024 oct.), doi:10.33414/ajea.1738.2024, URL https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1738.

[6] Vertu, "Top 3 AI Reading Tutor Apps for Kids in 2025," https://vertu.com/ai-tools/top-3-ai-reading-tutor-apps-for-kids-in-2025/ (2025), accessed: 2025-07-23.

[7] Amira Learning, "Official Website," https://amiralearning.com/ (2025), accessed: 2025-07-23.

[8] Readability Tutor, "Sitio oficial de Readability," https://www.readabilitytutor.com/es/ (2025), accessed: 2025-07-23.

[9] Khan Academy, "Khanmigo para docentes," https://www.khanmigo.ai/es/teachers (2025), accessed: 2025-07-23.

### Datos de contacto

*Palma, Emilce Rocío, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán, Tucumán, Argentina. emilce.palma@alu.frt.utn.edu.ar*

*Rodriguez, Camila, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán, Tucumán, Argentina. camila.rodriguez@alu.frt.utn.edu.ar*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Minería 4.0 en Catamarca: Un Marco de Inteligencia Artificial Integrado para la Clasificación Automatizada de Minerales en Operaciones Mineras de Catamarca

**Barbara Lapetina, Milena Guitian**
***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán***

**Abstract**

*Este proyecto propone un sistema inteligente integrador para la clasificación automatizada de minerales en cintas transportadoras en operaciones mineras de Catamarca. Utilizando Redes Neuronales Convolucionales (RNC) y, específicamente, el algoritmo YOLOv8, el sistema identificará en tiempo real minerales como cobre, litio, oro, entre otros, así como la ganga. Para gestionar la incertidumbre inherente a las imágenes y datos de sensores, se incorporará la Lógica Difusa (LD). Además, un Sistema Experto (SE) codificará el conocimiento geológico y los protocolos de procesamiento para tomar decisiones de desviación precisas y justificables. El objetivo es optimizar el procesamiento minero, reducir pérdidas operativas, costos y riesgos laborales, al tiempo que se mejora la sostenibilidad ambiental. Los beneficios esperados incluyen mejoras significativas en la productividad, la eficiencia energética y la seguridad laboral, posicionando a Catamarca como referente en minería inteligente.*

**Palabras Clave**

Clasificación automatizada, minería inteligente, redes neuronales convolucionales, lógica difusa, sistemas expertos, sostenibilidad minera.

## 1. Introducción

Catamarca se posiciona como líder nacional en la producción de cobre y litio, minerales estratégicos para la transición energética global, con proyectos de envergadura como MARA y Fénix. La minería es un motor clave de empleo y desarrollo local, con un 78 % de la población reconociendo su impacto positivo en el empleo y la economía (ver Figura 1). Sin embargo, el sector enfrenta desafíos significativos, particularmente en la gestión del agua (preocupación para el 85 % de los ciudadanos), el consumo de energía y los riesgos ambientales, lo que impacta directamente en la "licencia social para operar" (ver Figura 2) [1].

La industria minera global está inmersa en una transformación hacia la "Minería 4.0", impulsada por la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (ML). Esta evolución busca mejorar la seguridad, aumentar la productividad y reducir costos, con la IA prometiendo un aumento del rendimiento operativo global entre un 4 % y un 6 %, y mejoras en la eficiencia energética entre un 10 % y un 15 % [2].

Catamarca, es una provincia argentina de 102.602 km², posee un considerable potencial geológico-minero, abarcando una amplia gama de minerales metalíferos, no metalíferos, rocas de aplicación y piedras semipreciosas (ver Figura 3). Este vasto territorio alberga actualmente 29 proyectos mineros en diversas etapas del proceso, desde la prospección inicial hasta la explotación y el cierre (ver Figura 4). La mayoría de los proyectos se encuentra en fase de exploración, lo que indica un enorme potencial de crecimiento y una oportunidad clave para aplicar Deep Learning desde las etapas iniciales para maximizar la precisión y eficiencia.

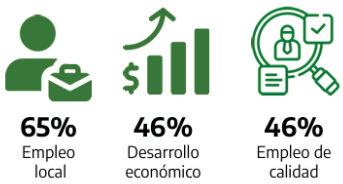



Figura 1: *Ventajas de la minería en Catamarca.*

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



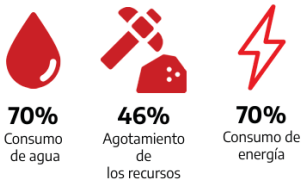



Figura 2: *Desventajas de la minería en Catamarca.*




Figura 3: *Algunos minerales que se encuentran en Catamarca.*

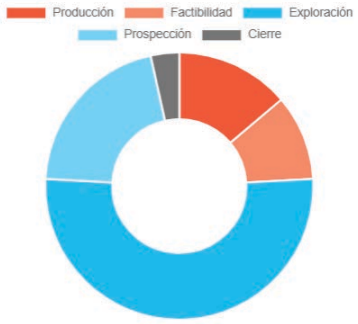



Figura 4: *Panorama de la Minería en Catamarca: Proyectos Actuales y Potencial Geológico.*

El procesamiento de minerales es una etapa intensiva en recursos y costos. La clasificación manual o semi-automatizada actual puede ser lenta, propensa a errores y no siempre maximiza la recuperación de minerales valiosos, llevando a pérdidas y procesamiento innecesario de ganga (material sin valor económico). La optimización de esta etapa es clave para la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

Este trabajo propone un sistema inteligente que integra Redes Neuronales Convolucionales (RNC) para el análisis visual, Lógica Difusa (LD) para gestionar la incertidumbre y Sistemas Expertos (SE) para la toma de decisiones basada en conocimiento. Esta combinación sinérgica busca explotar las fortalezas de cada enfoque para crear un sistema robusto, adaptable y explicable que optimice la clasificación de minerales en Catamarca, mejorando la eficiencia, la recuperación de recursos, la seguridad y la sostenibilidad ambiental.

## 2. Problema Actual y Justificación de la Solución

El procesamiento de minerales implica separar los minerales valiosos de la ganga (material sin valor económico). Este paso es crucial en la minería ya que influye directamente en la recuperación y pureza del concentrado.

La clasificación precisa del mineral es fundamental para la eficiencia de procesos posteriores como la flotación, que separa los minerales por sus propiedades de superficie, o la lixiviación, que disuelve los minerales en una solución. Una clasificación deficiente puede llevar a la pérdida de mineral valioso o a un mayor consumo de reactivos, impactando negativamente la rentabilidad y la sostenibilidad de la operación.

Tradicionalmente, la clasificación de minerales, a menudo manual o con tecnologías limitadas, presenta ineficiencias significativas:

- **Pérdida de mineral valioso:** Errores en la identificación pueden llevar a que material de alta ley se deseche con la ganga.
- **Procesamiento innecesario de ganga:** El material no deseado que ingresa al circuito de procesamiento aumenta el consumo de energía, agua y reactivos.
- **Velocidad y subjetividad:** Los métodos actuales son lentos y propensos a la subjetividad humana.
- **Riesgos para la seguridad:** Intervención humana en áreas de maquinaria en movimiento.
- **Altos costos operativos:** Derivados de la ineficiencia y el desperdicio de recursos.

La integración de RNC, Lógica Difusa y Sistemas Expertos es la tecnología

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



idónea para este trabajo debido a su capacidad intrínseca para:

- **Procesar Datos Visuales Complejos (RNC):** Analizan imágenes de forma eficiente, identificando características y patrones que son difíciles de discernir por otros métodos. Permiten la identificación y clasificación precisa de minerales y ganga en movimiento, lo que es crucial para la optimización en línea del proceso [3].
- **Manejo de Incertidumbre y Fusión de Datos (LD):** La Lógica Difusa permite interpretar las salidas probabilísticas de las RNC y los datos de sensores auxiliares (ej., humedad, densidad) que pueden ser imprecisos o vagos. Transforma estos valores en grados de pertenencia a categorías lingüísticas, permitiendo un razonamiento más flexible y robusto ante la variabilidad del entorno minero.
- **Razonamiento Basado en Conocimiento y Explicabilidad (SE):** Los Sistemas Expertos encapsulan el conocimiento explícito de geólogos e ingenieros, aplicando reglas y heurísticas para tomar decisiones de desviación. Además, pueden justificar sus acciones, lo que es fundamental para la confianza y validación del sistema por parte de los operadores.

## 3. Diseño y Metodología del Sistema Propuesto

### 3.1 Arquitectura del Sistema Propuesto

El sistema se basará en una arquitectura de visión por computadora integrada en la línea de procesamiento, enriquecida con Redes Neuronales Convolucionales, Lógica Difusa y un Sistema Experto, cada uno aportando capacidades complementarias para abordar los desafíos de la minería (ver Figura 5).

- **Módulo de Captura de Datos:** Cámaras de alta resolución (RGB, multiespectrales, etc.) instaladas estratégicamente sobre la cinta transportadora para capturar imágenes continuas del flujo de mineral. Se considerará la iluminación controlada para asegurar la calidad de la imagen. Se integrarán también **Sensores Auxiliares** (ej., de densidad, humedad) para proporcionar datos adicionales.
- **Módulo de Preprocesamiento de Imágenes y Datos:** Las imágenes y los datos de los sensores serán preprocesados para normalizar el tamaño, ajustar el contraste y brillo, y realizar aumentos de datos (data augmentation) para enriquecer el conjunto de entrenamiento.

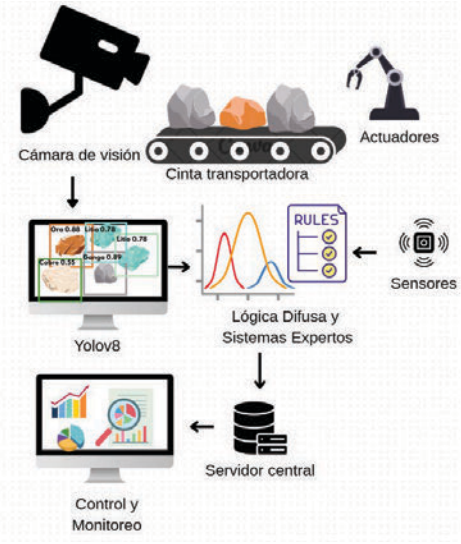



Figura 5: *Arquitectura de la solución propuesta.*

- **Modelo de RNC:** Se priorizará el uso de la familia de algoritmos YOLO (*You Only Look Once*), específicamente YOLOv8 [4], por su equilibrio óptimo entre precisión y velocidad de inferencia. Las RNC (YOLOv8) son excelentes para identificar y clasificar visualmente los minerales en tiempo real, proporcionando una "confianza" o probabilidad de que un objeto sea de una clase determinada (ej., 0.85 cobre, 0.10 ganga). La arquitectura de YOLOv8 (ver Figura 6) se compone de:
  - **Backbone:** Red principal basada en una arquitectura tipo CSP-Net, encargada de extraer características de la imagen de entrada, desde detalles de bajo nivel hasta representaciones de alto nivel.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Neck:** Conecta el backbone con la cabeza de detección, mejorando la propagación y fusión de características de diferentes escalas (utiliza FPN y PAN) para detectar objetos de diversos tamaños.
- **Head:** Parte final de la red que interpreta los mapas de características para generar las predicciones finales. Está desacoplada y predice las coordenadas del cuadro delimitador, una puntuación de confianza de objeto y las probabilidades de clase (por ejemplo, “cobre”, “litio”, “ganga”).

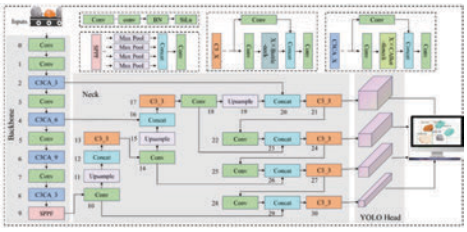


Figura 6: *Arquitectura YOLOv8.*

- **Módulo de Lógica Difusa:** Este módulo es fundamental para gestionar la incertidumbre y la imprecisión inherente a las clasificaciones de la RNC y a los datos de los sensores auxiliares. La realidad es que las clasificaciones de las RNC no siempre son 100 % certeras, y las condiciones del entorno minero (iluminación, polvo, humedad, variaciones del mineral) introducen mucha incertidumbre. La Lógica Difusa es perfecta para esto, ya que permite un razonamiento flexible y robusto ante la variabilidad del entorno minero.
  - **Fuzzificación:** Transforma los valores numéricos de entrada, como las confianzas probabilísticas de la RNC (ej., 0.85 para cobre) y las lecturas de los sensores auxiliares (ej., humedad 60 %), en **términos lingüísticos** más manejables y cercanos al razonamiento humano (ej., “confianza alta”, “humedad media” ). Esto se logra mediante **funciones de pertenencia** que asignan un grado de 0 a 1 a cada término, lo cual es crucial porque los expertos humanos no piensan en probabilidades exactas, sino en rangos y grados.
  - **Inferencia Difusa:** Un conjunto de **reglas ”SI-ENTONCES”** predefinidas, basadas en el conocimiento experto, permite combinar la información incierta de la RNC y los sensores de una manera flexible y robusta. Por ejemplo: ”SI la confianza de la RNC para COBRE es ALTA Y la lectura de densidad es MEDIA ENTONCES la certeza de COBRE es FUERTE”. Esto es mucho más potente que un umbral rígido.
  - **Defuzzificación:** Una vez que la Lógica Difusa ha realizado sus inferencias en términos difusos (un grado de pertenencia a una acción), el proceso de **defuzzificación** convierte esta salida en un valor numérico o una acción concreta que el sistema pueda ejecutar, como activar un desviador.
- **Módulo de Sistema Experto:** Este módulo será el cerebro de decisión final, operando una vez que la Lógica Difusa ha refinado la “certeza” de la clasificación. Su función principal es aplicar el conocimiento explícito para tomar decisiones precisas y justificables.
  - **Base de Conocimiento Experta:** Contiene el conocimiento “duro” y las reglas operativas de los geólogos e ingenieros, extraídas de guías operativas y la experiencia humana. Estas reglas son categóricas (ej., “SI el mineral es COBRE Y la certeza es MUY ALTA Y el tamaño es GRANDE ENTONCES desviar a la línea de concentrado”).
  - **Motor de Inferencia:** Aplica las reglas de la Base de Conocimiento a los datos de entrada (incluyendo la salida defuzzificada de la Lógica Difusa) para llegar a conclusiones y determinar la acción de desviación óptima.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



  - **Toma de Decisiones Justificable y Explicabilidad:** Lo más importante es que el Sistema Experto puede **justificar por qué tomó esa decisión**, mostrando la cadena de razonamiento que llevó a la acción. Esto es vital para la confianza de los operadores, la validación del sistema y la auditoría del proceso en un entorno industrial.

- **Módulo de Actuación:** Basado en la decisión del Sistema Experto, un sistema de actuación (ej., chorros de aire, brazos robóticos, desviadores mecánicos) separará los minerales clasificados en diferentes flujos para su procesamiento posterior o descarte. La implementación de este módulo y el procesamiento en tiempo real de las imágenes y datos de sensores requerirá el uso de hardware de computación en el borde (edge computing) con unidades de procesamiento gráfico (GPU) o unidades de procesamiento neuronal (NPU) para garantizar una inferencia de baja latencia directamente en la línea de producción.
- **Interfaz de Monitoreo y Control:** Un panel de control permitirá a los operadores supervisar el proceso, visualizar las clasificaciones en tiempo real, las inferencias de la lógica difusa, las decisiones del sistema experto y sus justificaciones, y ajustar parámetros si es necesario. Esta interfaz no solo proporcionará información detallada, sino que también facilitará la intervención humana en caso de anomalías o decisiones críticas, manteniendo al operador como el supervisor final y permitiendo la anulación de decisiones automatizadas cuando sea necesario.

### 3.2. Proceso de Implementación Conceptual

El desarrollo del proyecto propuesto para su implementación se estructurará en fases secuenciales, garantizando un desarrollo metódico y una validación rigurosa:

- **Fase 1: Recolección y Preprocesamiento de Datos:** Obtención y gestión de grandes volúmenes de datos mineros (historiales, análisis, imágenes y sensores) directamente de operaciones en Catamarca, cubriendo la diversidad geológica de la provincia (cobre, litio, oro, plata, rodocrosita, etc.). Se llevará a cabo limpieza, normalización y anonimización para garantizar calidad y privacidad, junto con un etiquetado riguroso por geólogos y expertos en mineralogía. Este proceso enfrentará desafíos como variaciones de iluminación, polvo, humedad y diferentes tamaños y formas de rocas. Para mejorar la robustez del modelo, se aplicarán técnicas de aumento de datos que generen variaciones controladas, asegurando un conjunto de entrenamiento diverso y representativo.
- **Fase 2: Entrenamiento de Modelos de IA:** Diseño, entrenamiento y optimización de arquitecturas de Redes Neuronales Convolucionales (RNC) y otros modelos de aprendizaje profundo (CNN, LSTM, MLP) adecuadas para los diferentes tipos de datos. El conjunto de datos se dividirá en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba para asegurar la generalización del modelo. La RNC será entrenada en plataformas de alto rendimiento, aprovechando la aceleración por GPU para manejar grandes volúmenes de datos y optimizar el proceso de aprendizaje.
- **Fase 3: Definición y Ajuste de Lógica Difusa y Reglas del Sistema Experto:** Colaboración estrecha con expertos en minería y geología para la definición de conjuntos difusos, funciones de pertenencia y reglas difusas que modelen la incertidumbre y la heurística inherente al dominio. Paralelamente, se construirá la Base de Conocimiento del Sistema Experto mediante la extracción de conocimiento explícito de guías operativasy expertos. Se implementará una validación iterativa para refinar la precisión y la lógica de las reglas difusas y del sistema experto, asegurando su coherencia y completitud.
- **Fase 4: Integración y Validación del Sistema Completo:** Desarrollo de interfaces robustas para integrar RNC, Lógica Difusa, Sistema Experto, sensores y actuadores. Se realizarán pruebas en entornos si-

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



mulados y pilotos reales, priorizando ciberseguridad, robustez ante datos anómalos y explicabilidad. El rendimiento se evaluará con métricas como precisión, recall y F1-score, manteniendo monitoreo continuo para asegurar fiabilidad y adaptabilidad.

### 3.3. Arquitectura Técnica y Flujo de Datos Global

Es fundamental detallar la integración técnica y el flujo de datos del sistema. La Figura 7 muestra la interconexión de los módulos y el proceso mediante el cual la información capturada se procesa y transforma gradualmente hasta convertirse en decisiones operativas.




Figura 7: *Flujo de Datos Global.*

El flujo comienza en el módulo de **Captura de Datos**, que emplea cámaras RGB o multiespectrales y sensores auxiliares (densidad, humedad, entre otros). Las imágenes obtenidas son procesadas inicialmente con OpenCV, aplicando normalización, ajustes de brillo/contraste y preparación para la inferencia.

A continuación, los datos ingresan al módulo de **Preprocesamiento e Inferencia en el Borde**, donde se ejecuta el modelo YOLOv8, entrenado con PyTorch y optimizado mediante ONNX Runtime para alcanzar latencias inferiores a 100 ms. Esta etapa produce las probabilidades de clasificación para cada tipo de mineral y la ganga.

El resultado de la inferencia, junto con las lecturas de los sensores, es procesado en el módulo de **Fusión de Datos y Lógica Difusa**, implementado con scikit-fuzzy, que permite manejar la incertidumbre y refinar el nivel de certeza en la clasificación.

Posteriormente, la información se transfiere al **Sistema Experto**, desarrollado con CLIPS o Drools, donde se aplican reglas operativas y conocimiento geológico para determinar una decisión final justificable.

La decisión emitida se envía al módulo de **Actuación**, que comunica las órdenes a los sistemas físicos de separación — tales como desviadores mecánicos, chorros de aire o brazos robóticos — a través de PLCs o ROS, garantizando una ejecución precisa y segura.

En paralelo, el sistema dispone de módulos de soporte que incluyen:

- Base de datos (PostgreSQL, InfluxDB) para almacenar metadatos, telemetría e históricos.
- Orquestación y mensajería (Docker, Kubernetes, Kafka) para despliegue reproducible, comunicación fiable y escalabilidad.
- Entrenamiento y mejora continua en la nube (PyTorch Lightning) para actualización de modelos y gestión del ciclo de vida de la IA.

Esta arquitectura modular y la integración fluida de los componentes permiten una operación robusta, escalable y trazable, alineada con los estándares de la minería inteligente y la Industria 4.0.

### 3.4. Impacto Potencial en Catamarca

La implementación de este sistema generará un impacto transformador en múltiples dimensiones:

- **Optimización Operacional y Económica:** Aumento de la recuperación de minerales y reducción de costos operativos (disminución del procesamiento de ganga, lo que se traduce en menor consumo de energía entre un 10 % y un 15 % [2], agua y reactivos). Mayor productividad por la automatización de tareas repetitivas.
- **Mejora de la Sostenibilidad Ambiental:** Uso eficiente del agua y reducción de residuos al separar eficazmente la ganga en etapas tempranas.
- **Fortalecimiento de la Seguridad Laboral:** Reducción de la exposición a riesgos al disminuir la intervención humana en

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



áreas de maquinaria en movimiento, reduciendo potencialmente los accidentes laborales hasta en un 40 %.

- **Posicionamiento estratégico de Catamarca:** Atracción de inversiones, desarrollo de capital humano en IA y minería inteligente, y fortalecimiento de la licencia social mediante eficiencia, seguridad y responsabilidad ambiental.

## 4. Trabajos Relacionados

La **automatización** y el uso de la **Inteligencia Artificial (IA)** en la industria minera han sido objeto de amplio estudio en la última década, consolidándose como pilares fundamentales de la denominada **Minería 4.0**. Diversas investigaciones han explorado la aplicación de técnicas de aprendizaje profundo y razonamiento computacional para mejorar la precisión y eficiencia en la clasificación de minerales, el control de procesos y la toma de decisiones en entornos industriales complejos.

Entre los avances más recientes, Long y Zhou (2025) propusieron un modelo de **clasificación de minerales basado en YOLOv8** que optimiza la extracción de características y el aumento de datos, alcanzando resultados sobresalientes en la identificación de materiales a partir de imágenes de alta resolución [5]. Este trabajo evidencia la eficacia de las **Redes Neuronales Convolucionales (RNC)** en la minería moderna, especialmente por su capacidad para operar en tiempo real y adaptarse a la variabilidad visual del material extraído.

Por otro lado, Mery et al. (2025) abordaron la problemática de la **incertidumbre en la clasificación de recursos minerales** mediante un enfoque de **Lógica Difusa**, proponiendo un modelo que integra criterios geológicos, económicos, metalúrgicos y ambientales en un marco de decisión flexible [6]. Este estudio destaca cómo la representación difusa de los datos permite reflejar la naturaleza ambigua de los procesos geológicos y mejorar la fiabilidad de las decisiones en contextos con información incompleta o contradictoria.

En cuanto al uso de **Sistemas Expertos (SE)** en minería, Laguitton et al. (1989) realizaron una de las primeras aplicaciones en **procesamiento mineral**, desarrollando un sistema capaz de asistir a los operadores en la interpretación de datos de planta y en la selección de estrategias de control adecuadas [7]. De forma complementaria, Bearman (1992) analizó las **oportunidades de los sistemas expertos en la industria minera**, resaltando su potencial para capturar conocimiento técnico especializado y formalizar reglas operativas que mejoran la consistencia y eficiencia en la toma de decisiones [8].

En conjunto, estos trabajos constituyen un **antecedente sólido para el desarrollo de soluciones inteligentes aplicadas a la minería**, demostrando cómo la combinación de *deep learning*, razonamiento difuso y sistemas expertos puede transformar los procesos de clasificación, control y optimización dentro del sector minero.

## 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

Este trabajo propuso el diseño e implementación de un sistema inteligente para la clasificación automatizada de minerales en cintas transportadoras, aplicando Redes Neuronales Convolucionales (RNC) avanzadas como YOLOv8, complementadas con Lógica Difusa (LD) para el manejo de la incertidumbre y un Sistema Experto (SE) para la toma de decisiones basada en conocimiento explícito. La solución busca optimizar los procesos mineros en Catamarca, aumentando la eficiencia, reduciendo costos operativos, mejorando la seguridad laboral y promoviendo una minería más sostenible.

Se destacó la importancia de contar con datos de calidad, la selección adecuada de arquitecturas de deep learning, la definición precisa de reglas difusas y la construcción robusta de la base de conocimiento del sistema experto, así como la integración eficiente con los sistemas de control de planta. El impacto positivo esperado a nivel productivo, ambiental y social posiciona a Catamarca como un referente en innovación minera a nivel regional.

Como líneas futuras de trabajo se plantean:

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- **Desarrollo de prototipos a escala real:** Validar el desempeño del sistema en entornos operativos reales y medir su robustez.
- **Optimización de modelos:** Explorar versiones livianas de YOLOv8 y técnicas de cuantificación para su implementación en hardware de bajo consumo.
- **Fusión de sensores avanzada:** Integrar datos multiespectrales, de rayos X u otros sensores con la Lógica Difusa para una clasificación multimodal más precisa y una gestión de la incertidumbre más sofisticada.
- **Explicabilidad (XAI) mejorada:** Profundizar en técnicas de IA explicable que permitan a los operadores comprender las reglas activadas y cómo la lógica difusa influyó en el nivel de certeza, aumentando así la confianza en las decisiones del sistema experto.
- **Mantenimiento adaptativo de la Base de Conocimiento:** Desarrollar herramientas para que los expertos puedan actualizar y validar de forma más sencilla la base de conocimiento del Sistema Experto y las reglas difusas.
- **Monitoreo predictivo:** Extender el sistema para detectar anomalías y predecir fallas en tiempo real, mejorando el mantenimiento preventivo de la maquinaria y la calidad del mineral.

**Agradecimientos**

Queremos agradecer a la Cátedra de Inteligencia Artificial de la UTN-FRT por el espacio académico y los recursos brindados. En especial, reconocemos la guía y dedicación de los profesores Ing. Mg. Mario Figueroa De la Cruz e Ing. Diego Lizondo, cuyo compromiso nos motivó a profundizar en el estudio y aplicación de tecnologías avanzadas.

**Referencias**

[1] G. de Argentina, Informe catamarca, consultado en julio de 2025 (2025).

[2] S. Electric, Usar la ia para optimizar los beneficios en la minería, consultado en julio de 2025 (2025).

[3] ISDI, Redes neuronales convolucionales: qué son y cómo funcionan (2023).

[4] V. Alenawala, Yolov8 architecture: A detailed overview, consultado en julio de 2025 (2025).
URL https://medium.com/@vindyalenawala/yolov8-architecture-a-detailed-overview-5e2c371cf82a

[5] B. Long, C. Zhou, Enhanced mineral image classification using yolov8-cls with optimized feature extraction and dataset augmentation, Informatica 49 (34) (2025). doi:10.31449/inf.v49i34.7927.

[6] N. Mery, M. Maleki, G. País, A. Molina, A. Cáceres, X. Emery, Fuzzy classification of mineral resources: Moving toward overlapping categories to account for geological, economic, metallurgical, environmental, and operational criteria, Resources Policy 75 (2025) 102254. doi:10.1007/s11053-025-10470-5.

[7] D. Laguitton, et al., Advances in expert system applications in mineral processing, in: Expert Systems in Mineral Processing, Elsevier, 1989.
URL https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080372839500548

[8] R. A. Bearman, Expert systems: Opportunities in the minerals industry, Computers & Geosciences 18 (4) (1992) 485–494.
URL https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0892687592901678

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



# Marco de Ciberseguridad para PYMEs Argentinas Frente a la Tercerización Cloud: Diagnóstico Regional y Propuesta con IA y Herramientas Abiertas

*Agustin Ezequiel Brites*

*agustinbrites@gmail.com*

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia*

*Centro de Investigación Aplicada en Tecnología de la Información y las Comunicaciones (CInApTIC)*

## Resumen

*Este trabajo aborda los desafíos de ciberseguridad que enfrentan las pequeñas y medianas empresas (PYMES) argentinas al tercerizar servicios en la nube (cloudsourcing), con foco en el contexto regional del NEA. Se parte del diagnóstico de una problemática creciente: la adopción acelerada de tecnologías cloud sin planificación ni controles adecuados, que expone a las organizaciones a riesgos técnicos, organizativos y legales.*

*La metodología combinó una encuesta exploratoria aplicada a 19 PYMES de la región (principalmente del Chaco), con una revisión documental centrada en marcos de referencia internacionales (NIST CSF 2.0, ISO/IEC 27001) y literatura académica sobre gestión de riesgos en entornos tercerizados. Los resultados revelan un uso intensivo de servicios cloud, pero con baja implementación de medidas de seguridad, escasa capacitación, desconocimiento de normas y ausencia de protocolos.*

*A partir de este diagnóstico, se propone un marco de ciberseguridad simple, basado en el NIST CSF 2.0, adaptado a PYMES con recursos limitados. El modelo sugiere acciones mínimas por función (Identificar, Proteger, Detectar, Responder, Recuperar y Gobernar), acompañadas de herramientas abiertas, guías prácticas y estrategias de implementación progresiva. Asimismo, se incorpora un complemento tecnológico con inteligencia artificial para automatizar tareas clave como la clasificación de alertas, la detección de anomalías y la concientización del personal mediante chatbots.*

*El marco busca ser una guía concreta y escalable para mejorar la postura de seguridad de las PYMES argentinas, promoviendo la autonomía digital, la gestión del riesgo y el uso responsable de la tecnología cloud en un entorno cada vez más interconectado.*

## Introducción

En los últimos años, la adopción de servicios en la nube ha crecido exponencialmente entre las pequeñas y medianas empresas (PYMES), motivadas por la promesa de reducción de costos, escalabilidad y acceso a tecnologías avanzadas sin necesidad de grandes inversiones iniciales. Sin embargo, este proceso de transformación digital, muchas veces impulsado por la necesidad y sin una planificación estratégica, ha venido acompañado de nuevas vulnerabilidades y desafíos en materia de ciberseguridad.

Diversos estudios indican que las PYMES son actualmente uno de los blancos más frecuentes de ataques cibernéticos debido a la debilidad de sus controles de seguridad, la falta de políticas formales y la escasa capacitación del personal [2, 4]. En particular, la tercerización de servicios en la nube proceso conocido como cloudsourcing plantea riesgos adicionales cuando no se implementan mecanismos adecuados de gestión de proveedores, evaluación de riesgos, ni contratos con cláusulas específicas de seguridad y cumplimiento normativo.

Esto se agrava en regiones como el Chaco argentino, donde muchas empresas carecen de estructuras dedicadas a la ciberseguridad, y los marcos de referencia internacionales como ISO/IEC 27001 o el NIST CSF son poco conocidos o utilizados. En este contexto, resulta

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



fundamental desarrollar propuestas adaptadas a las realidades locales, que no solo contemplen los estándares internacionales sino que sean viables y aplicables para las capacidades reales de las PYMES regionales.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es doble: Diagnosticar el estado actual de la ciberseguridad en las

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



PYMES chaqueñas mediante una encuesta exploratoria y revisión documental, y Proponer un marco de ciberseguridad simple y accesible, alineado al NIST CSF 2.0, que pueda ser adoptado por las organizaciones locales con recursos limitados, incluyendo el uso de herramientas abiertas y funciones básicas de inteligencia artificial como parte de la solución.

Este enfoque busca brindar una guía concreta, realista y aplicable, que contribuya al fortalecimiento de la postura de seguridad en el ecosistema PYME, promoviendo una cultura de gestión del riesgo adaptada a los desafíos del entorno digital actual.

## Fundamentos teóricos

### Conceptos básicos

#### ¿Qué es cloud computing?

La computación en la nube es un modelo que permite el acceso bajo demanda a recursos computacionales (servidores, almacenamiento, aplicaciones) a través de redes, usualmente Internet[8, 9]. Los servicios pueden clasificarse como IaaS (Infraestructura como servicio), PaaS (Plataforma como servicio) o SaaS (Software como servicio), y ser desplegados mediante modelos públicos, privados o híbridos.

#### ¿Qué es la tercerización de servicios cloud (cloudsourcing)?

La tercerización en la nube implica delegar la gestión de servicios TI a proveedores externos que ofrecen infraestructura y aplicaciones mediante el modelo cloud. Si bien esto reduce costos y mejora la eficiencia operativa, también acarrea riesgos asociados a la pérdida de control, seguridad de los datos y aspectos legales, como la jurisdicción del almacenamiento y la responsabilidad contractual [1, 3].

El término cloudsourcing refleja un modelo estratégico de adopción que requiere equilibrio: las organizaciones deben evaluar cuidadosamente los beneficios frente a los riesgos. El caso de WikiLeaks, cuya información fue eliminada unilateralmente por Amazon tras presiones políticas, ejemplifica los riesgos de depender completamente de proveedores externos sin marcos de seguridad apropiados [3].

#### ¿Qué es la ciberseguridad y cómo se gestiona el riesgo en la nube?

La ciberseguridad se refiere a las prácticas, controles y tecnologías destinadas a proteger sistemas, redes y datos digitales ante accesos no autorizados o ciberataques. En el contexto de la nube, gestionar riesgos implica:

- Identificar activos y vulnerabilidades.
- Evaluar amenazas probables.
- Implementar controles técnicos y organizacionales.
- Supervisar y ajustar de forma continua.

En entornos cloud, los principales riesgos son: pérdida de datos, falta de cifrado, accesos privilegiados sin control, y responsabilidad difusa entre proveedor y cliente [2, 7]. Estos desafíos se intensifican por el carácter distribuido de los servicios y la opacidad de las infraestructuras del proveedor.

### Buenas prácticas y marcos de referencia

El desarrollo de políticas de ciberseguridad en entornos tercerizados requiere alinearse con marcos de referencia internacionalmente aceptados. Entre ellos, el NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0 y la norma ISO/IEC 27001 son dos pilares fundamentales que pueden ser adaptados a las necesidades y capacidades de las PYMES argentinas.

#### NIST CSF 2.0: funciones y categorías

El NIST CSF 2.0 se estructura en torno a seis funciones clave que permiten gestionar los riesgos de ciberseguridad de manera integral [6]: Identificar, Proteger, Detectar, Responder, Recuperar y, en la versión 2.0, se incorpora también Gobernar como función transversal. Cada función se descompone en categorías que cubren desde la gestión de activos hasta la recuperación post-incidente.

En el contexto de una PYME que terceriza servicios en la nube, este marco permite estructurar acciones concretas como:

- Identificar: mantener un inventario de activos, servicios tercerizados y proveedores.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



- Proteger: implementar backups, cifrado y controles de acceso.
- Detectar: monitorear logs, anomalías e intentos de acceso.
- Responder: definir protocolos simples ante incidentes.
- Recuperar: probar restauración de servicios y lecciones aprendidas.
- Gobernar: establecer roles, responsabilidades y políticas claras.

Esto se ejemplifica en trabajos como el Modelo Integral de Gestión de Riesgos Cibernéticos para PYMEs [11], que adapta directamente el NIST CSF 2.0 a organizaciones pequeñas, identificando herramientas accesibles y marcos mínimos aplicables a distintos niveles de madurez tecnológica .

**ISO/IEC 27001: sistema de gestión de seguridad**

La norma ISO/IEC 27001:2022 establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información (SGSI). Aunque su aplicación completa puede resultar compleja para una PYME, ofrece principios útiles para estructurar procesos y controles, como:

- Evaluaciones periódicas de riesgos.
- Declaración de aplicabilidad (SoA).
- Políticas de acceso, cifrado y gestión de incidentes.

El artículo Marco de trabajo de ciberseguridad compuesto por normas y controles para proteger la información de las PYMES demuestra cómo se puede combinar ISO 27001 con NIST CSF para diseñar un marco ajustado a realidades locales, destacando la relevancia de controles como el cifrado de datos en tránsito y en reposo, la autenticación multifactor y la definición de responsabilidades legales [12] .

## Metodología

### Diseño y aplicación de la encuesta

Con el objetivo de diagnosticar el estado actual de la ciberseguridad en las PYMES chaqueñas que utilizan servicios en la nube, se diseñó una encuesta estructurada, distribuida principalmente a responsables de empresas, gerentes de tecnología o administradores informáticos. La encuesta incluyó 21 preguntas organizadas en cinco bloques:

- Datos generales: rubro, años de operación, tamaño y ubicación.
- Uso de servicios en la nube: tipo de servicios utilizados, gestión y criterios de contratación.
- Seguridad informática: medidas aplicadas, conocimientos del personal, capacitación y protocolos.
- Percepción de riesgo: nivel percibido de vulnerabilidad y obstáculos.
- Incidentes: ocurrencia de incidentes cibernéticos y su relación con servicios cloud.

Todas las preguntas fueron de tipo cerradas (opción única o múltiple), y algunas incluían escalas de Likert o respuestas condicionales. La encuesta fue implementada mediante Google Forms y distribuida a través de redes profesionales y contactos institucionales en Chaco, Corrientes y Formosa. Se obtuvieron 19 respuestas válidas.

### Método de análisis

Los datos se analizaron utilizando un enfoque cuantitativo descriptivo, representando frecuencias y porcentajes mediante gráficos y tablas. El análisis buscó identificar patrones comunes, brechas de seguridad y correlaciones entre variables como tamaño de empresa, rubro y nivel de madurez en ciberseguridad.

Además, se realizó un análisis documental comparativo, seleccionando bibliografía científica relevante en torno a:

- Riesgos asociados a la tercerización cloud.
- Uso de marcos de referencia (NIST CSF, ISO/IEC 27001).
- Buenas prácticas en PYMES tecnológicamente limitadas.

Los criterios de selección incluyeron:

- Relevancia temática (PYMES, cloud, ciberseguridad).
- Enfoque latinoamericano o adaptable a contextos similares.
- Propuestas de marcos o metodologías validadas.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Resultados del diagnóstico en PYMES del Chaco

### Perfil de las empresas encuestadas

El relevamiento incluyó 19 empresas de distintas provincias del NEA, con una fuerte presencia del Chaco (68%), especialmente en Gran Resistencia y localidades del interior. En cuanto al rubro, predominan las actividades de producción industrial y agroindustrial, que representan el 42% del total. Le siguen las empresas de software y tecnología (26%), el comercio minorista o mayorista (21%) y los servicios profesionales (11%).

Respecto al tamaño, la mayoría de las PYMES encuestadas cuenta con más de 50 empleados (42%), mientras que un 31% tiene entre 6 y 20 trabajadores, lo que refleja una muestra diversa que combina organizaciones medianas con otras más pequeñas.

### Adopción y gestión de servicios cloud

Todos los encuestados manifestaron utilizar algún tipo de servicio en la nube, aunque un pequeño porcentaje (5%) declaró no estar seguro de ello, lo que evidencia cierto desconocimiento técnico sobre las herramientas utilizadas. Entre los servicios más adoptados se destacan el almacenamiento de archivos (94%) y el correo empresarial (84%), seguidos por aplicaciones SaaS como sistemas de gestión o facturación (58%).

Sin embargo, la gestión de estos servicios revela una situación desigual: apenas el 47% de las empresas cuenta con personal técnico propio, mientras que el resto depende del dueño o de otros empleados sin formación específica en TI. Además, el 63% de las empresas no considera criterios de seguridad al momento de seleccionar proveedores cloud, priorizando otras variables como el costo o la facilidad de uso.

### Prácticas de ciberseguridad

En lo que respecta a las medidas de protección aplicadas, un 42% de las empresas no implementa ninguna práctica formal de ciberseguridad. Entre aquellas que sí adoptan acciones básicas, las más comunes son las copias de seguridad (52%), el control de accesos (47%), el uso de antivirus o firewall (47%) y la autenticación multifactor (MFA), utilizada solo por el 42%.

La formación del personal también presenta una brecha significativa: el 58% no realiza ningún tipo de capacitación en seguridad informática, y solo un 16% lo hace de forma periódica. Esto se refleja en la escasa presencia de protocolos internos: el 68% no cuenta con planes de respuesta ante incidentes, y el 53% no ha definido roles ni responsabilidades en esta materia. Además, el desconocimiento de marcos de referencia es alto: el 63% de las empresas no conoce estándares como NIST o ISO/IEC 27001, y solo un 16% afirma haberlos aplicado parcialmente.

### Percepción de riesgo e incidentes

La percepción del riesgo cibernético entre las PYMES chaqueñas es moderadamente alta, con un promedio de 3,3 sobre 5 en la escala utilizada, y una tendencia a calificarlo como "elevado". Las principales barreras identificadas para mejorar la seguridad son la falta de presupuesto (89%), la escasez de personal capacitado (74%) y la falta de tiempo o prioridades (74%). A esto se suma la carencia de información adecuada sobre los riesgos (58%), lo que refuerza el diagnóstico de baja madurez organizacional en esta área.

Finalmente, el 32% de las empresas reconoció haber sufrido algún incidente de ciberseguridad en los últimos cinco años. No obstante, la mitad de los casos no pudo determinar si dichos incidentes estaban relacionados con los servicios en la nube, lo que denota nuevamente una falta de monitoreo y registro adecuados.

## Análisis de riesgos comunes en la tercerización cloud

La adopción de servicios en la nube por parte de las PYMES chaqueñas representa una estrategia tecnológica atractiva por sus beneficios en términos de accesibilidad, escalabilidad y reducción de costos operativos. Sin embargo, cuando estos servicios son tercerizados sin una adecuada gestión de la seguridad, gobernanza o aspectos contractuales, emergen diversos riesgos que deben ser considerados. A partir de los datos recolectados y la revisión bibliográfica, se identificaron tres grandes grupos de riesgos: técnicos, organizativos y legales.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



### Riesgos técnicos

Desde el punto de vista técnico, uno de los riesgos más críticos es la ausencia de copias de seguridad actualizadas. Frente a amenazas como ransomware, errores humanos o pérdida de acceso a plataformas cloud, no contar con respaldos compromete directamente la continuidad operativa. En la encuesta, el 42% de las empresas admitió no aplicar ninguna medida de seguridad en la nube, y sólo poco más de la mitad (52%) realiza backups de manera sistemática. A esto se suma la baja implementación de cifrado de datos, tanto en tránsito como en reposo, una práctica esencial para prevenir interceptaciones o manipulaciones: apenas el 26% de las PYMES afirmó utilizar algún mecanismo de cifrado.

Otro aspecto preocupante es la gestión de accesos. Muchas organizaciones permiten el uso de contraseñas débiles, no definen permisos de usuario, ni aplican autenticación multifactor (MFA). Esta debilidad fue confirmada en los resultados: el 47% de las empresas no implementa controles de acceso ni MFA, quedando expuestas a intrusiones por fuerza bruta o compromisos de credenciales. Estos riesgos se ven agravados cuando los servicios cloud son administrados por personas sin conocimientos técnicos, como ocurre en el 42% de los casos, o directamente no se gestionan internamente (21%), lo cual dificulta la detección y corrección de configuraciones erróneas, vulnerabilidades o accesos indebidos.

### Riesgos organizativos

En el plano organizativo, las carencias estructurales son evidentes. Una amplia mayoría de las empresas no tiene roles claramente definidos en materia de ciberseguridad (63%), lo que imposibilita establecer responsabilidades o coordinar una respuesta eficaz ante un incidente. Solo el 16% indicó contar con roles formalizados y documentados.

A esta debilidad se suma la falta de protocolos o planes de acción. El 68% de las PYMES no posee ningún procedimiento definido ante incidentes informáticos, lo que implica una respuesta improvisada, con consecuencias que pueden ser tanto operativas como legales o reputacionales. La cultura organizacional también juega un papel clave: más de la mitad de las empresas no capacita a su personal, y un 37% reconoce niveles muy bajos o nulos de conocimiento en seguridad. Este escenario refuerza la idea de que muchas veces la tercerización cloud es percibida como una solución técnica, desligada de un compromiso institucional real con la ciberseguridad.

En este sentido, delegar servicios tecnológicos sin contar con estructuras internas mínimas de gestión y supervisión genera importantes puntos ciegos, que pueden facilitar la materialización de amenazas y obstaculizar la capacidad de reacción ante ellas.

### Riesgos legales y contractuales

Los aspectos legales y contractuales también presentan riesgos significativos, muchas veces ignorados por las PYMES al momento de contratar servicios cloud. Un punto clave es el alojamiento de datos fuera del país. Muchos de los proveedores más utilizados (como Google Drive, AWS o Microsoft) operan servidores en otras jurisdicciones, lo que puede dificultar el cumplimiento de las normativas locales sobre privacidad y protección de datos. Si no se establecen cláusulas específicas, la empresa queda expuesta ante eventuales conflictos legales.

Además, la falta de acuerdos formales de nivel de servicio (SLA) debilita la posición del cliente frente a incidentes o pérdidas de información. La encuesta revela que el 63% de las empresas no eligió a su proveedor cloud basándose en criterios de seguridad, lo que sugiere contrataciones informales y sin asesoramiento técnico o legal. Muchas organizaciones admiten haber aceptado los términos y condiciones de los proveedores sin revisarlos, asumiendo un nivel de confianza que no siempre está respaldado por garantías.

Esta situación es especialmente preocupante cuando se manejan datos sensibles, como información de clientes, pacientes o cuentas financieras. Cabe recordar que, incluso cuando los datos se almacenan o procesan en servidores de terceros, la responsabilidad legal por su protección sigue recayendo sobre la empresa que los recopila.

En conjunto, los resultados muestran una combinación riesgosa de alta dependencia de servicios en la nube, baja preparación técnica y organizacional, y contratos débiles o inexistentes. Esto no implica que la tercerización sea negativa en sí misma, sino que debe estar acompañada de estructuras mínimas de gobernanza, vigilancia y planificación. Solo así puede convertirse en una oportunidad segura y eficiente para las PYMES que buscan

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



innovar sin poner en riesgo su sostenibilidad. En las secciones siguientes se presentará un marco de referencia adaptado, junto con herramientas accesibles y buenas prácticas orientadas a mitigar estos riesgos de forma progresiva y realista.

## Propuesta de marco de ciberseguridad simple para PYMES argentinas

A partir de los riesgos identificados y la baja madurez en seguridad evidenciada en las PYMES del NEA, se propone un marco de acción basado en el NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0, adaptado a entornos con recursos limitados, baja especialización técnica y alta dependencia de servicios en la nube. Este marco sugiere acciones mínimas por función, acompañadas de herramientas accesibles (libres o de bajo costo), y puede ser implementado de manera gradual, sin necesidad de conocimientos avanzados en ciberseguridad.

**Tabla 1.** Función NIST CSF + Acción + Herramientas

| Función NIST CSF | Acción recomendada para PYMES | Herramientas accesibles sugeridas |
|---|---|---|
| Identificar | Elaborar un inventario de activos digitales y proveedores de servicios cloud. Registrar tipo de datos tratados y responsables internos. | Excel o Google Sheets + plantilla base (editable). Herramienta alternativa: CMDB.io para organizaciones más maduras. |
| Proteger | Aplicar backups regulares, cifrado de información sensible, contraseñas robustas y control de accesos por rol. Establecer reglas básicas de protección en los servicios cloud utilizados. | VeraCrypt (cifrado), Bitwarden (gestor de contraseñas), Google Workspace o Microsoft 365 con MFA activado. Capacitación inicial: CS-AWARE BASIC. |
| Detectar | Supervisar accesos, cambios y eventos inusuales. No requiere soluciones sofisticadas, pero sí una rutina de revisión básica. | Google o Microsoft. Guías de revisión manual (ej. historial de acceso en Google Drive). |
| Responder | Definir un protocolo mínimo de actuación ante incidentes: ¿quién reporta?, ¿a quién?, ¿qué pasos se siguen? Debe imprimirse, difundirse y estar siempre accesible. | Plantilla PDF adaptada (basada en [NIST 800-61 Rev.2]), Google Docs compartido, asignación de roles básicos con RACI. Se sugiere imprimir una copia para uso físico. |
| Recuperar | Comprobar mensualmente la restauración de backups. Tener identificadas las prioridades de recuperación (servicios críticos). Aplicar lecciones aprendidas después de cada incidente. | Backups en Google Drive/OneDrive, Dropbox Business, herramientas de recuperación de sistemas. Registro de incidentes en Excel o LibreOffice Calc. |
| Gobernar | Establecer roles mínimos (responsable de seguridad, usuario administrador, usuario estándar), registrar decisiones, mantener al día las políticas básicas de seguridad. | Manual interno editable (PDF/Word), reuniones breves semestrales con responsables, checklist de gobernanza. Puede iniciarse con el uso de Trello o Notion. |

Este marco fue diseñado para que cualquier PYME del NEA pueda comenzar a fortalecer su postura de seguridad sin necesidad de especialistas en TI. Las herramientas propuestas son gratuitas o de bajo costo, muchas ya se encuentran en uso (Google Workspace, Dropbox, etc.), pero no están aprovechadas con enfoque de seguridad. La idea es resignificarlas y acompañarlas de un esquema organizacional básico.

El objetivo no es el cumplimiento normativo estricto, sino la mejora continua y progresiva de la madurez cibernética en entornos reales y acotados.

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



## Recomendaciones adicionales y rutinas complementarias para fortalecer la seguridad en PYMES

Como complemento al marco basado en NIST CSF 2.0, se propone un conjunto de herramientas accesibles y rutinas prácticas que pueden ser incorporadas progresivamente por PYMES del NEA, aun sin contar con personal especializado en tecnología. Estas recomendaciones permiten reforzar la postura de seguridad mediante acciones concretas, sostenibles y de bajo costo.

### Herramientas sugeridas

Se destacan aplicaciones orientadas a la protección de credenciales, cifrado de datos y verificación preventiva:

- KeePassXC: gestor de contraseñas local, sin necesidad de conexión a la nube. Permite almacenar claves de forma segura, con portabilidad desde dispositivos extraíbles. Su simplicidad lo convierte en una opción robusta para microempresas sin conexión permanente [13].
- Cryptomator: solución de cifrado de archivos específicamente diseñada para integrarse con servicios de almacenamiento en la nube como Google Drive o Dropbox. No requiere conocimientos técnicos avanzados [15].
- HaveIBeenPwned: plataforma en línea gratuita que permite verificar si direcciones de correo electrónico o contraseñas asociadas a la empresa han sido comprometidas en brechas de datos. Su uso periódico fortalece la higiene digital y permite prevenir accesos indebidos.
- Mailvelope y ProtonMail: herramientas que incorporan cifrado de extremo a extremo en el correo electrónico. Resultan especialmente útiles en sectores que manejan información sensible o datos personales.

### Rutinas de bajo costo para iniciar o fortalecer una política de seguridad

- Verificación trimestral de permisos compartidos: mediante una revisión manual o con planillas simples (Excel, Google Sheets), la empresa puede auditar quién tiene acceso a qué archivos en plataformas cloud. Esta actividad permite detectar comparticiones indebidas o accesos antiguos sin uso.
- Matriz básica de riesgo: como primera aproximación a la gestión de riesgos, se recomienda construir una tabla visual con columnas de “impacto” y “probabilidad”, identificando activos críticos y posibles amenazas. Esta herramienta puede elaborarse sin software, y utilizarse para tomar decisiones de protección mínimas [4].
- Cambio semestral de contraseñas críticas: se sugiere implementar una política informal de renovación de contraseñas dos veces al año, comenzando por cuentas de correo, acceso a la nube y sistemas bancarios. Herramientas como KeePassXC o Bitwarden facilitan este proceso.
- Simulación de incidentes: una vez al año, la empresa puede realizar un ejercicio simulado ante escenarios simples como pérdida de un celular corporativo, hackeo de cuenta de correo o caída del servicio cloud. El objetivo es poner a prueba el protocolo de respuesta definido y registrar oportunidades de mejora.

Estas acciones, aunque simples, representan un paso clave hacia una cultura de ciberseguridad sostenida. La incorporación progresiva de herramientas y rutinas permite avanzar en la madurez organizacional, incluso en contextos con recursos limitados, y actúa como puente hacia futuras certificaciones o políticas más complejas.

## Aplicación práctica del marco en PYMES con ejemplos y acciones

El marco presentado puede parecer abstracto para algunas organizaciones que no cuentan con personal especializado o experiencia previa en ciberseguridad. Por ello, se detalla a continuación cómo actuar en cada función, con ejemplos concretos que reflejan situaciones típicas de las PYMES de la región:

### Identificar

Las PYMES deben comenzar por saber qué tienen y a quién se lo confían. Esto implica identificar:

- Dispositivos (PCs, celulares, routers).
- Aplicaciones utilizadas (ej. WhatsApp Business, sistemas de facturación en la nube).
- Servicios cloud contratados (Drive, Dropbox, Gmail, Mercado Pago, etc.).
- Personas responsables (dueño, técnico, empleado administrativo).

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



Ejemplo: La empresa "Miel del Monte" utiliza Google Drive para compartir archivos, y el dueño accede desde su celular. En una planilla, anota:

- Qué tipo de archivos guarda.
- Quién tiene acceso.
- Si usa contraseña fuerte y si tiene copia local.

Con solo 1 hora al mes puede mantener actualizada esta planilla.

**Proteger**

La protección no requiere grandes inversiones. Lo importante es aplicar hábitos mínimos pero constantes:

- Activar el MFA en cuentas de Gmail, redes sociales y plataformas bancarias.
- Usar una contraseña distinta para cada servicio y guardarlas en Bitwarden.
- Realizar una copia mensual en una carpeta externa o unidad USB cifrada con VeraCrypt.

Ejemplo: Un comercio que gestiona facturas con un sistema SaaS puede descargar un backup semanal en Excel y cifrar. Luego, guarda una copia en una carpeta protegida por contraseña en OneDrive.

**Detectar**

Aunque muchas PYMES no cuenten con software avanzado de monitoreo, sí pueden detectar irregularidades si establecen rutinas simples de revisión:

- Consultar semanalmente el historial de acceso a Google Drive.
- Verificar si hubo accesos desde ubicaciones o dispositivos inusuales.
- Establecer alertas básicas de inicio de sesión en Gmail, WhatsApp o Mercado Pago.

Ejemplo: Una empresa agroindustrial detectó que se accedió a su cuenta Google desde otra provincia. Al revisar, notó que el usuario compartió una carpeta sensible sin autorización. La detección temprana permitió revocar el acceso a tiempo.

**Responder**

Tener un plan mínimo de respuesta es mejor que no tener nada. No es necesario escribir un protocolo extenso. Basta con:

- Un documento impreso y compartido que diga: "Ante incidentes, avisar a tal persona, suspender acceso, cambiar contraseñas y registrar lo ocurrido".
- Practicar qué hacer si se pierde un celular, se hackea un correo o se detecta un archivo extraño.

Ejemplo: En un taller mecánico, una secretaria borró sin querer una carpeta de Drive. Como sabían que debían informar de inmediato al dueño y tenían copia local, recuperaron todo en minutos. Documentaron lo ocurrido para evitar repetirlo.

**Recuperar**

Recuperar es volver a funcionar, y esto depende de tener prácticas de respaldo y verificación:

- Probar una vez por mes si el backup que tienen realmente se puede abrir.
- Establecer qué sistema se debe recuperar primero (facturación, correo, archivos).

Ejemplo: Una empresa de turismo perdió el acceso a su CRM por cambio de política del proveedor. Como había exportado una copia en CSV la semana anterior, pudo migrar los datos a una hoja Excel y seguir operando mientras buscaba otra herramienta.

**Gobernar**

Gobernar implica tomar decisiones mínimas pero claras:

- Definir quién tiene acceso a qué.
- Registrar cuándo se cambian contraseñas o se otorgan permisos.
- Reunirse dos veces al año para revisar si siguen usando los mismos servicios, si cambiaron contraseñas, si hubo incidentes.

Ejemplo: Una distribuidora designó a su encargado de ventas como responsable de las cuentas digitales. Este anotó en una planilla quién accede a cada servicio, y propuso cambios de contraseñas cada 6 meses. Además, planteó migrar de WhatsApp personal a WhatsApp Business con seguridad mejorada.

## Complemento tecnológico con inteligencia artificial

La incorporación de inteligencia artificial (IA) en el ámbito de la ciberseguridad ya no es exclusiva de grandes corporaciones. Hoy existen herramientas accesibles, muchas open-source o de bajo costo, que permiten a las PYMES automatizar tareas críticas, detectar comportamientos anómalos y fomentar una cultura de seguridad con mínimos recursos. A continuación, se presentan tres líneas concretas de acción:

### Clasificación automática de alertas

Una de las principales dificultades que enfrentan las PYMES es la sobrecarga de información técnica cuando se

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



utilizan herramientas de detección como antivirus, firewalls o sistemas de detección de intrusos (IDS).

Mediante el uso de modelos simples de IA entrenados en conjuntos de datos públicos[15], es posible:

- Clasificar alertas por nivel de riesgo.
- Filtrar falsos positivos automáticamente.
- Priorizar eventos reales (por ejemplo, accesos desde países inusuales, descargas masivas, cambios de configuración).

Herramientas sugeridas:

- Wazuh con reglas personalizadas y módulos de machine learning (basado en Elastic Stack).
- Snort + script de Python con scikit-learn para filtrar alertas frecuentes no críticas.
- Security Onion: suite que combina detección con visualización y clustering automático de eventos.

### Detección de anomalías en logs

La revisión manual de logs (historiales de acceso, cambios de archivos, actividad en servicios cloud) es una tarea tediosa y poco sostenible para una PYME. Usando IA es posible automatizar la detección de:

- Accesos fuera del horario habitual.
- Accesos simultáneos desde distintas ubicaciones.
- Comportamientos que difieren del patrón normal del usuario.

Herramientas sugeridas:

- Logwatch + Script IA en Jupyter Notebook para comparar frecuencias semanales.
- OpenAI Codex o GPT-4 + API: para resumir logs extensos y explicar su contenido en lenguaje natural.
- Splunk Free Edition + App Machine Learning Toolkit: permite aplicar modelos sin programar.

### Chatbots para concientización en seguridad

Capacitar al personal suele ser costoso o poco frecuente. Una alternativa es desarrollar o adaptar chatbots educativos de bajo costo, que:

- Simulen escenarios de phishing o suplantación.
- Respondan dudas sobre buenas prácticas.
- Notifiquen consejos semanales por WhatsApp, Telegram o sitio interno.

Herramientas sugeridas:

- Dialogflow (de Google): permite crear bots con lógica simple y respuestas programadas.
- Botpress o Rasa (open source): permite incluir reglas específicas y entrenamiento local.
- WhatsApp Business API + script con GPT-4 API: para responder consultas en lenguaje natural.

## Conclusiones

Las pequeñas y medianas empresas argentinas enfrentan hoy un proceso de transformación digital acelerado, muchas veces guiado por la necesidad más que por la estrategia. La tercerización de servicios tecnológicos mediante plataformas en la nube, si bien representa una oportunidad para reducir costos y mejorar la eficiencia operativa, también introduce nuevos riesgos si no se acompaña de prácticas mínimas de gobernanza, control y seguridad.

El relevamiento regional realizado en el NEA evidenció una alta dependencia de servicios cloud, pero con niveles preocupantemente bajos de madurez en ciberseguridad: más del 60 % de las PYMES no aplican normas reconocidas, no definen roles específicos ni cuentan con protocolos ante incidentes. Esta situación las expone no solo a pérdidas operativas, sino también a impactos legales, reputacionales y financieros.

Ante este panorama, se presenta una propuesta concreta, viable y escalable: un marco de ciberseguridad adaptado al entorno PYME, basado en el NIST CSF 2.0, que incorpora herramientas accesibles, rutinas de fácil implementación y ejemplos contextualizados. A su vez, se exploran usos iniciales de inteligencia artificial para automatizar tareas críticas y fomentar la concientización del personal, sin requerir grandes inversiones ni conocimientos técnicos avanzados.

Este trabajo no se limita a identificar riesgos, sino que propone una hoja de ruta clara para mitigarlos. Busca empoderar a las PYMES con soluciones realistas, reducir la brecha digital en seguridad, y contribuir a la

AJEA (Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN)
DOI: https://doi.org/10.33414/ajea.2085.2026
Publicado / Published: 09/2026



construcción de un ecosistema productivo más resiliente, autónomo y consciente de los desafíos del entorno digital.

Como línea futura, se sugiere profundizar la validación del marco en diversos sectores productivos, promover políticas públicas que incentiven su adopción, y fomentar la articulación entre actores locales, técnicos y académicos para fortalecer la ciberseguridad como bien común.

## Referencias

[1] Géczy, P., Izumi, N., y Hasida, K., "Cloudsourcing: Managing Cloud Adoption", Global Journal of Business Research, vol. 6, n.º 2, 2012, pp. 57–70.

[2] Kuyoro, S. O., Ibikunle, F. y Awodele, O., "Cloud Computing Security Issues and Challenges", International Journal of Computer Networks (IJCN), vol. 3, n.º 5, 2011, pp. 247–255.

[3] Yeboah-Boateng, E. O., y Essandoh, K. A., "Outsourcing Business to Cloud Computing Services: Opportunities and Challenges", Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences, vol. 3, n.º 1, enero 2012, pp. 138–145.

[4] Kimwele, M. y Mwangi, S., "Managing Cybersecurity and E-Commerce Risks in Small and Medium Enterprises (SMEs)", International Journal of Cyber-Security and Digital Forensics (IJCSDF), vol. 10, n.º 3, septiembre 2021, pp. 225–236.

[5] Jaramillo, H., y Otros, "Factores para la adopción de servicios de Cloud Computing en las PYMES del Ecuador", Revista Científica ECOCIENCIA, vol. 8, n.º 1, 2021, pp. 103–119.

[6] NIST, "Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity", versión 2.0, National Institute of Standards and Technology (NIST), febrero 2024. Disponible en: https://www.nist.gov/cyberframework

[7] NIST, "NIST Special Publication 800-144: Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing", Jansen, W. y Grance, T., National Institute of Standards and Technology, diciembre 2011.

[8] NIST, "NIST Special Publication 800-145: The NIST Definition of Cloud Computing", Mell, P. y Grance, T., National Institute of Standards and Technology, septiembre 2011.

[9] NIST, "NIST Special Publication 800-146: Cloud Computing Synopsis and Recommendations", Liu, F., Tong, J., Mao, J., y otros, National Institute of Standards and Technology, mayo 2012.

[10] International Organization for Standardization (ISO), "ISO/IEC 27001:2022 – Information Security, Cybersecurity and Privacy Protection — Information Security Management Systems — Requirements", 3ª ed., Suiza, 2022.

[11] Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), "Modelo Integral de Gestión de Riesgos Cibernéticos para PYMEs", Documento Técnico, 2023.

[12] Ponencia anónima, "Marco de trabajo de ciberseguridad compuesto por normas y controles para proteger la información de las PYMES", Revista Científica Seguridad y TIC, vol. 5, n.º 2, 2022.

[13] Cilliers, L., "A Practical Guide to Implementing IaaS in Resource-Constrained Environments", African Journal of Information Systems, vol. 12, n.º 1, 2020.

[14] López, S., "Aplicación práctica del marco NIST CSF 2.0 en empresas pequeñas", Revista de Seguridad Informática y Gobernanza, vol. 3, n.º 4, 2023.

[15] Recio, J., "Recomendaciones de buenas prácticas de ciberseguridad en PYMES con Snort y herramientas libres", Tesis de Maestría en Seguridad de la Información, Universidad Nacional de Córdoba, 2022.

Estas actas fueron generadas automáticamente mediante un flujo de trabajo basado en Python y LaTeX bajo el sistema operativo Linux Mint.
El comité editorial no se hace responsable por las opiniones vertidas por los autores en sus respectivos trabajos.